

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
M. Sc. A.

PAR
Manon POUTEAU

DE NOUVELLES PLATEFORMES POUR AMÉLIORER LA GESTION DE
L'INFORMATION SUR LE CHANTIER

MONTREAL, LE 23 JUIN 2016



Manon Pouteau, 2016



Cette licence [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY
CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Daniel Forgues, directeur de mémoire
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Gabriel Lefebvre, président du jury
Département de Génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Adel Francis, professeur
Département de Génie de la construction à l'École de technologie supérieure

Mme Ivanka Iordanova, examinateur externe
Directrice BIM, Pomerleau Inc.

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 6 JUIN 2016

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

AVANT-PROPOS

Ce mémoire fait état des travaux de recherche réalisés entre les mois de septembre 2014 et février 2016 au sein du laboratoire du GRIDD de l'ÉTS Montréal dans le cadre du diplôme de Maîtrise en Sciences Appliquées. Ces travaux de recherche constituent la PHASE 2 d'une étude plus grande sur les Technologies Mobiles par le GRIDD.

Le laboratoire du GRIDD travaille en effet sur le sujet des Technologies Mobiles pour la gestion des projets de construction depuis 2012 et le travail de recherche a été initié par Sébastien Frenette, étudiant à la maîtrise en génie de la construction entre 2012 et 2015. S. Frenette a principalement investigué l'état d'utilisation des TM au Québec, ainsi que les avantages et les défis que rencontraient les entreprises qui mettaient en place une TM au Québec, à travers un sondage à l'échelle provinciale et des études de cas. Les résultats de cette investigation ont été exposés dans le guide « Construction 2.0 : L'efficacité par le numérique » publié par le CEFRIO. Après avoir conduit d'autres études de cas, les résultats additionnels du projet de recherche de Sébastien ont été exposés dans son mémoire de maîtrise « Améliorer les processus de communication sur les chantiers de construction à l'aide des technologies mobiles et des technologies infonuagiques ». Le guide et le mémoire de Sébastien constituent la PHASE 1 de l'étude sur les TM.

Les travaux de recherche de la PHASE 2 ont pris leur source dans les résultats du travail de S. Frenette, qui suggéraient un manque de lignes directrices sur le plan stratégique de la mise en place des TM dans les entreprises de la construction au Québec.

Une première partie des résultats de la PHASE 2 est exposée dans le guide « Construction 2.0 : Guide des Technologies Mobiles » (deuxième volet du guide Construction 2.0.) publié en octobre 2015 par le CERACQ et destiné aux professionnels. La PHASE 2 a ensuite été complétée par d'autres travaux de recherche et la globalité de tous ces travaux est exposée dans ce mémoire.

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord mon directeur de recherche M. Daniel Forgues pour m'avoir donné l'opportunité de faire partie d'un groupe de recherche dynamique et porteur d'innovation, ainsi que pour m'avoir fait bénéficier de son expertise dans les nouvelles pratiques de gestion de projet, et de son enthousiasme pour le changement dans l'industrie de la construction.

Je tiens à remercier tout particulièrement Mme Souha Tahrani, associée de recherche du GRIDD pour m'avoir guidée dans ma première expérience de recherche, avoir consacré beaucoup de temps à mon travail et m'avoir soutenue avec bonne humeur dans la réalisation de ce mémoire de bout en bout.

Je remercie également tous les membres l'équipe du GRIDD pour avoir partagé leurs connaissances et leur bonne humeur lors de nos rassemblements. Merci à Isabelle et Jeff pour leur soutien administratif et technique dans nos projets.

Je remercie tous les professionnels que j'ai pu rencontrer et qui m'ont permis d'en apprendre davantage sur le monde de la construction et de bâtir ce projet de recherche.

Je remercie mon conjoint, Tristan Noël, pour avoir été présent à mes côtés tout au long de mes études, m'avoir consacré son temps et avoir rendu le travail facile et agréable à deux.

Finalement, je remercie mon frère David et sa compagne Claire, mes parents Martine et Laurent, mes beaux-parents, mes grands-parents, ma grande tante, ainsi que tous mes amis pour leur soutien, leurs encouragements et la confiance en moi qu'ils ont exprimée tout au long de mon parcours universitaire. Je n'aurais pas pu parcourir ce chemin sans eux.

DE NOUVELLES PLATEFORMES POUR AMÉLIORER LA GESTION DE L'INFORMATION SUR LE CHANTIER

Manon POUTEAU

RÉSUMÉ

Les méthodes traditionnelles qui sont encore appliquées actuellement dans les projets de construction sont depuis longtemps controversées. Lors de la dernière décennie, de nouveaux modes de réalisation dont les valeurs sont focalisées sur la collaboration et le partage des intérêts entre les intervenants de projet ont vu le jour. Les Technologies Mobiles (TM) sont des outils adaptés à ces valeurs puisqu'ils fonctionnent sur la base d'applications mobiles dont le stockage repose sur l'infonuagique, permettant ainsi un accès facile, sur demande et en tout lieu aux données des projets et à des outils de communication. Les TM, utilisées pour la gestion de l'information des projets, offrent ainsi la possibilité de centraliser l'information d'un projet de construction, réunissant les intervenants virtuellement via une application.

Plusieurs entreprises québécoises perçoivent le potentiel des TM et les utilisent dans leurs projets. Cependant, les études montrent un certain retard du Québec face aux autres pays au niveau de l'adoption. Les raisons de ce retard sont liées à une faible importance donnée au côté stratégique lors de l'implémentation d'une TM dans une entreprise. Les TM doivent être vues comme un outil au changement et non pas comme l'objet du changement. La question de recherche que pose ce mémoire est « Comment informatiser la gestion de l'information sur le chantier à l'aide des TM ? ». Pour y répondre, ce mémoire fait une proposition de changement face à la situation actuelle du Québec vis-à-vis des TM en construction, en suivant le schéma « organisation, technologie, procédure ».

Dans un premier temps, trois processus courants des projets de construction sont cartographiés puis améliorés grâce à l'introduction d'une solution mobile, mettant en évidence le potentiel d'optimisation. Une trousse d'outils est ensuite proposée aux entreprises pour guider la démarche d'introduction d'une TM dans leurs projets. Le principal élément de cette trousse est un Guide d'implémentation, élaboré non seulement sur la base des études précédemment réalisées mais aussi de nouvelles études de cas menées auprès de différents professionnels de la construction. Ce guide suggère une approche stratégique en six étapes pour l'implémentation d'une solution mobile en entreprise : besoins, profil, choix technologique, préparation, implémentation et amélioration. Les deux derniers outils de la trousse sont un tableau décisionnel pour orienter le choix technologique, et un gabarit de plan d'affaires pour le calcul de la rentabilité de l'implémentation. Finalement, une phase de validation a mis à l'épreuve les trois premières étapes du Guide d'implémentation, en les appliquant chez un entrepreneur général souhaitant introduire une solution mobile dans ses projets. Cette expérience a montré des bénéfices à l'application des étapes du guide.

Mots clés : Technologies mobiles, construction, gestion de l'information, gestion de projets, automatisation.

MOBILE TECHNOLOGIES FOR BETTER INFORMATION MANAGEMENT IN CONSTRUCTION PROJECT DELIVERY

Manon POUTEAU

ABSTRACT

For a long time now, the use of traditional methods in construction projects have been controversial. During the last decade, new contractual approaches such as Integrated Project Delivery (IPD) have emerged, based on modern values like collaboration and stakeholders' shared interests. As they run with cloud computing, Mobile Technologies (MT) are very suitable tools for such values. Indeed, cloud computing allows an easy on demand access, anywhere, to project data and communication tools. The use of MT for information management thus make possible data centralization for a construction project and virtual gathering of all the stakeholders through the app.

Some early adopters among Québec construction industry see the potential of MT. However, studies show that Québec is lagging behind other countries in terms of MT adoption. The cause of this gap is the low proportion of the efforts focusing on implementation strategies. MT must be seen as a tool helping the change instead of the change itself. The research question of this thesis is "How can we computerize on site information management via MT?". To answer this question, a change proposal, following the "organization, technology, procedure" concept, is made towards the current situation of Québec regarding the use of MT in construction.

On the one hand, three common construction project processes (relating to three major stakeholders: contractor, architect and client) have been mapped and then improved with the introduction of a mobile solution, highlighting optimization possibilities. On the other hand, the development of a toolkit meant to help and guide construction firms in the setting up of a MT in their construction projects answers the strategic problem. The main element of the toolkit is an Implementation Guide, not only based on previous studies but also new case studies conducted with different construction professionals. This guide suggests a strategic approach divided in six key steps: needs, profile, technological choice, preparation, implementation and improvement. The two other elements of the toolkit are a decision table to steer the technological choice, and a business case template, which is a checklist to estimate the profitability of the implementation. Finally, part of the Implementation Guide has been tested by applying the three first steps in the real context of a construction firm (general contractor), showing the benefits it can bring for a firm.

Keywords : Mobile technologies, construction, information management, project management, automation.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	23
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE.....	29
1.1 Pourquoi les TM ont le potentiel d'améliorer les performances dans l'industrie de la construction ?	29
1.1.1 Les TM au service de l'information, de la communication et de la collaboration	30
1.1.2 L'infonuagique au service du chantier.....	32
1.1.3 Les applications au service de la gestion	34
1.2 Les barrières à l'implémentation des TM en construction.....	41
1.2.1 Les défis rencontrés lors de l'implémentation	41
1.2.2 Les TM : un outil et non pas une solution	43
1.3 Le cas particulier du Québec.....	44
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE	47
2.1 Vue d'ensemble de la méthodologie.....	48
2.2 Partie I : Études de cas	50
2.3 Partie II : Cartographie des processus.....	55
2.4 Partie III : Validation	56
CHAPITRE 3 ANALYSE DE LA SITUATION EXISTANTE.....	59
3.1 Processus traditionnels de gestion de l'information	60
3.1.1 Entrepreneur général	61
3.1.2 Architecte	64
3.1.3 Client.....	66
3.2 Applications mobiles disponibles sur le marché.....	69
3.3 Études de cas : utilisation des TM chez les entreprises innovantes.....	72
3.3.1 Prérequis	72
3.3.1.1 Axes de discussion en fonction du profil	73
3.3.1.2 Axes de discussion en fonction de la discipline.....	74
3.3.2 Besoins exprimés par les entreprises québécoises	75
3.3.3 Stratégies employées pour la mise en place des TM	76
3.3.4 Défis et retombées de l'adoption des TM	77
3.4 Conclusion	79
CHAPITRE 4 PROPOSITION DE CHANGEMENT	81
4.1 Processus transformés.....	82
4.1.1 Entrepreneur général.....	82
4.1.2 Architecte.....	84
4.1.3 Client.....	86
4.1.4 Discussion.....	89

4.2	Trousse d'outils.....	91
4.2.1	Guide d'implémentation	91
4.2.2	Tableau décisionnel	102
4.2.3	Gabarit de plan d'affaires.....	105
CHAPITRE 5 VALIDATION.....		107
5.1	Présentation de l'expérimentation.....	107
5.2	Définition des besoins et attentes.....	108
5.3	Caractérisation du profil	109
5.4	Choix d'un outil adapté.....	110
5.4.1	Analyse des différentes fonctionnalités attendues de la RA.....	110
5.4.2	Comparaison de plusieurs solutions.....	114
5.5	Discussion	119
CONCLUSION.....		121
RECOMMANDATIONS		125
ANNEXE I Questionnaire d'entrevue semi-dirigée – Profil utilisateur		127
ANNEXE II Questionnaire d'entrevue semi-dirigée – Profil décideur		129
ANNEXE III Questionnaire d'entrevue semi-dirigée – Profil développeur.....		131
ANNEXE IV Guide des Technologies Mobiles		133
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		135

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1	Résumé des recherches académiques sur le développement d'applications mobiles pour la construction ces dernières années35
Tableau 1.2	Les 10 applications les plus utilisées en construction aux États-Unis en 2013.....38
Tableau 1.3	Les 10 applications les plus utilisées en construction au Québec en 201439
Tableau 3.1	Description du processus choisi pour chaque acteur61
Tableau 4.1	Les trois types de besoins102
Tableau 4.2	Les deux types de budgets102
Tableau 5.1	Besoins et attentes de l'entrepreneur général vis-à-vis des TM108
Tableau 5.2	Profil et capacités de l'entrepreneur général vis-à-vis des TM109

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1	Fonctionnement d'une application infonuagique vis-à-vis des données de projet33
Figure 1.2	Les quatre niveaux de maturité Tirée de Frenette (2014)40
Figure 2.1	Cycle régulateur de la recherche en sciences de la conception pour les systèmes d'information47
Figure 2.2	Vue d'ensemble de la méthodologie de recherche employée et répartition des étapes de recherche dans le cycle régulateur de la recherche en sciences de la conception.....49
Figure 2.3	Description des participants aux sept études de cas.....51
Figure 2.4	Contexte des entrevues semi-dirigées : équipe de recherche.....52
Figure 2.5	Contexte des entrevues semi-dirigées : conception de l'étude53
Figure 2.6	Contexte des entrevues semi-dirigées : analyse et résultats.....54
Figure 3.1	Gestion du changement basée sur les trois piliers : procédural, technologique et organisationnel59
Figure 3.2	Relations entre acteurs dans les modes de réalisation courants60
Figure 3.3	Processus de partage des plans (méthode traditionnelle).....63
Figure 3.4	Processus de correction d'une non-conformité lors d'une visite de chantier hebdomadaire (méthode traditionnelle)65
Figure 3.5	Processus de recherche d'information sur le bâtiment (traditionnel)67
Figure 3.6	Échelle de maturité des applications mobiles et description des deux nouvelles subdivisions70
Figure 3.7	Comparatif de 14 applications utilisées au Canada71
Figure 3.8	Répartition des axes de discussion parmi les profils de participants73
Figure 3.9	Répartition des axes de discussion pour chaque discipline interrogée74
Figure 3.10	Les 25 mots les plus utilisés par les professionnels pour parler de leurs besoins.....75

Figure 3.11	Les différentes stratégies mises en place par les entreprises interrogées pour l'adoption des TM	76
Figure 3.12	Les sept défis rencontrés lors de l'adoption des TM les plus cités par les professionnels interrogés	77
Figure 3.13	Les retombées de l'adoption des TM les plus citées par les professionnels interrogés	78
Figure 4.1	Processus de partage des plans entre les intervenants de projet (après implémentation d'une TM).....	83
Figure 4.2	Processus de détection et correction d'une non-conformité détectée par l'architecte lors d'une visite de chantier hebdomadaire (après implémentation d'une TM).....	85
Figure 4.3	Centralisation des données du bâtiment avec BIM (en haut) et sans BIM (en bas)	87
Figure 4.4	Processus de recherche d'information sur le bâtiment (après implémentation d'une TM).....	89
Figure 4.5	Les 6 étapes clés du guide d'implémentation.....	92
Figure 4.6	Les trois premières étapes du guide d'implémentation mises en pratique dans une firme d'architecture de taille moyenne.....	96
Figure 4.7	Liste synthétique des étapes du guide d'implémentation des TM.....	101
Figure 4.8	Tableau décisionnel pour guider le choix technologique	104
Figure 4.9	Gabarit de plan d'affaires.....	106
Figure 5.1	Utilisation de la RA pour visualiser la conception du futur projet en contexte réel	110
Figure 5.2	Utilisation de la RA pour visualiser l'existant inaccessible avant le début des travaux	111
Figure 5.3	Utilisation de la RA pour confronter le modèle de conception BIM avec le tel que construit	112
Figure 5.4	Prototype d'application de RA pour la détection de non-conformités entre le modèle BIM et le réel	112
Figure 5.5	Utilisation de la RA pour accéder aux données du bâtiment pendant la phase d'exploitation.....	113

Figure 5.6	Comparatif entre 4 applications de RA testées sur un projet fictif commun	115
Figure 5.7	Utilisation du mode RA d'Infraworks 360 : la précision de la position des objets est de plusieurs mètres	117

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

TM	Technologie(s) Mobile(s)
BIM	Building Information Modeling
GRIDD	Groupe de Recherche en Intégration et Développement Durable en Environnement Bâti
IPD	Integrated Project Delivery
AECO	Architecture Engineering Construction and Owner-operated
CERACQ	Centre d'études et de recherches pour l'avancement de la construction au Québec
RA	Réalité augmentée

INTRODUCTION

Le temps moyen de travail effectif sur un chantier de construction est estimé à 50% (Hewage et Ruwanpura, 2009; Horman et Kenley, 2005). La recherche d'information est l'un des principaux facteurs de gaspillage de temps sur la phase de réalisation d'un projet de construction. Le schéma selon lequel l'information circule entre un chantier de construction et les différentes parties impliquées dans le projet est particulièrement complexe et fragmenté (Hewage et Ruwanpura, 2009). Ce schéma impose la répétition systématique de l'information, de laquelle découlent directement des pertes de temps, mais aussi un risque d'erreur plus élevé, et une quantité de données dans laquelle il devient fastidieux de faire des recherches. Eastman (2011) montre que l'utilisation des méthodes traditionnelles a pour conséquences sur les projets de construction des délais supplémentaires, des dépassements de budget et une productivité très faible en général, tandis que plusieurs études montrent que l'utilisation des nouvelles technologies comme les Technologies Mobiles (TM) a un fort potentiel, et notamment celui d'améliorer la productivité sur les chantiers de construction (Frenette, 2014; Usman et Said, 2012). Paradoxalement, la recherche de ces dix dernières années met en avant le fait que l'industrie mondiale de la construction, comparativement aux autres industries, est réticente à adopter les nouvelles technologies pourtant largement disponibles sur le marché (Childress, 2013; Eastman, 2011; Forgues et Staub-French, 2011; Gu et London, 2010; Hewage et Ruwanpura, 2009). À l'échelle de l'industrie québécoise de la construction, on constate que celle-ci fait face à un retard sur ses voisins les États-Unis dans l'utilisation des TM (Forgues, Tahrani et Frenette, 2014). Ces derniers font une plus grande utilisation des TM, et à un niveau de maturité plus élevé (Forgues et Staub-French, 2011; Frenette, 2014). Le Québec a donc besoin d'une avancée technologique pour rester concurrent sur le plan international. Certaines entreprises québécoises se montrent innovantes en intégrant à leurs processus de travail des TM, qui offrent une nouvelle vision de la gestion du projet. L'étude de ces entreprises innovantes apporte de précieux indices sur le comportement à adopter pour que cette évolution vers les TM se poursuive et soit la plus efficace possible.

L'entrée en jeu du Building Information Modeling (BIM) dans les projets sur l'ensemble des phases de construction est certainement l'avancée la plus prometteuse et incontournable des années à venir (Forgues et Staub-French, 2011). Ce nouveau processus de travail, révolutionnant la façon de conduire un projet de construction du début à la fin, repose sur un fonctionnement intégré des équipes de travail et une utilisation des nouvelles technologies de modélisation 3D, où tous les acteurs du projet collaborent, supprimant ainsi le caractère fragmenté des méthodes traditionnelles actuelles qui pose problème, et l'impression papier qui devient inévitablement une méthode de travail archaïque. Mais l'utilisation efficace et optimale du BIM requiert des changements radicaux qui doivent être faits sur quasiment tous les aspects d'un projet (Eastman, 2011). Les entreprises ne sont donc pas forcément toutes prêtes à adopter ce changement radical, la « révolution BIM » va se faire lentement. Par ailleurs, les applications ou logiciels permettant de travailler avec le BIM ne sont pas encore optimaux, certains points restent à améliorer comme la compatibilité des versions entre logiciels (Zadeh, Staub-French et Pottinger, 2015), ainsi qu'un manque d'applications utilisables à la fois en conception, en construction et en maintenance (Gu et London, 2010). Les TM ont alors un rôle transitoire à jouer dans le virage vers le BIM. En plus des raisons déjà évoquées pour justifier le potentiel des TM dans les projets de construction, ces dernières sont des outils qui familiarisent leurs utilisateurs avec la technologie tout en nécessitant moins de temps d'adaptation que le BIM. Elles constituent une passerelle vers le BIM car elles incitent aux nouvelles pratiques orientées vers la gestion intégrée et la collaboration. Certaines d'entre elles resteront utilisables indépendamment du BIM et d'autres s'y associeront. Leur adoption actuellement est en pleine croissance parmi les entreprises de construction, les donneurs d'ouvrages, les entreprises de conception, mais leur utilisation n'est pas toujours efficace ni optimale (Forgues, Tahrani et Pouteau, 2015).

Plusieurs facteurs ont été identifiés comme influençant la bonne adoption des technologies de l'information sur le chantier, et notamment l'appréhension des utilisateurs ou les conditions internes favorables ou non, mais aussi le soutien de la part de la hiérarchie (Sargent, Hyland et Sawang, 2012). Des études, cherchant à justifier cette difficulté dans l'adoption des TM en construction, montrent qu'il ne s'agit pas seulement d'implanter les technologies mobiles

pour augmenter la productivité, mais bien d'accompagner ce changement par une modification des habitudes de travail et par une formation efficace des utilisateurs (Forgues et Staub-French, 2011; Frenette, 2014; Kang et al., 2013). Il s'agit d'impliquer réellement tous les intervenants du projet dans le changement, et de travailler de façon collaborative. Un grand éventail d'applications mobiles existe actuellement et l'adoption de l'une d'entre elles par l'entreprise doit d'abord faire l'objet d'une étude incluant l'analyse des besoins et la capacité de changement de l'équipe de travail.

Ce mémoire présente les travaux de recherche effectués au sein du laboratoire du GRIDD de l'ETS Montréal, et faisant suite aux travaux de recherche de Sébastien Frenette au sein du même laboratoire sur le sujet des Technologies Mobiles pour la gestion de projets de construction au Québec. Les travaux de Frenette recensés dans son mémoire « Améliorer les processus de communication sur les chantiers de construction à l'aide des technologies mobiles et des technologies infonuagiques » (2014) ont mis en évidence les avantages et les défis que représente l'utilisation des TM sur le chantier à travers des études sur le terrain. En outre, le manque de stratégie d'implémentation a été désigné comme étant un facteur frein à la bonne mise en place des TM dans un projet de construction. Ce mémoire se base sur les résultats de Frenette et vient les compléter en se concentrant sur l'aspect stratégique de l'implémentation des TM au Québec. Il vise à la fois à évaluer le niveau d'implication stratégique des entreprises québécoises qui mettent en place des TM et à mettre à leur disposition des outils pour mieux gérer cet aspect. Au vu de la rapide évolution des TM à l'heure actuelle, et de la période d'un an et demi séparant les travaux de Frenette de ce mémoire, ce dernier apporte aussi un regard d'actualité sur les applications mobiles pour la construction.

La question de recherche que pose ce mémoire est la suivante :

Comment informatiser la gestion de l'information sur le chantier à l'aide des TM ?

L'objectif principal est d'établir un cadre d'implantation pour accompagner les entreprises québécoises adoptant une TM pour la gestion collaborative de leurs projets de construction. Les TM se présentent comme le support matériel d'un changement des processus de travail et nous nous concentrerons particulièrement sur la phase de réalisation des projets de construction qui est celle où la majorité de l'information circule, et qui est la moins informatisée (Forgues, Tahrani et Frenette, 2014).

Les trois objectifs secondaires permettant de mener à bien ce projet et d'atteindre cet objectif principal sont les suivants :

1. mettre en lumière les enjeux actuels liés à l'adoption des TM en construction. Plus précisément, il s'agit de faire état de la situation globale actuelle en se penchant sur les processus traditionnels utilisés par les professionnels qui n'utilisent pas les TM, sur les solutions mobiles disponibles actuellement sur le marché et sur l'attitude des entreprises innovantes qui adoptent ces nouvelles solutions (leurs raisons, leur stratégie et les avantages et les défis qu'elles rencontrent) ;
2. établir une proposition de changement incluant une cartographie des processus optimisés grâce à l'introduction d'une TM ainsi qu'une trousse d'outils destinée aux entreprises qui souhaitent mettre en place une TM sur un projet de construction, leur permettant d'une part d'être orientés dans leur choix technologique et d'autre part d'être conseillés quant aux meilleures mesures stratégiques à mettre en place au sein de leurs équipes de travail. La cartographie du processus a pour but de mettre en évidence le potentiel d'optimisation des TM et de faciliter l'implémentation en identifiant les zones de changement. La trousse d'outils comporte un tableau décisionnel développé pour guider le choix technologique de l'entreprise, un guide d'implémentation avec une stratégie d'implémentation détaillée en six étapes clés, ainsi qu'un gabarit de plan d'affaires pour le calcul de la rentabilité de l'investissement ;

3. valider la pertinence du Guide d'implémentation grâce à une application à un cas réel d'entreprise voulant mettre en place une TM.

À travers cette approche, ce mémoire vise à dégager les raisons du retard qu'affiche la construction au Québec en termes d'automatisation de ses processus de réalisation des projets de construction grâce aux outils mobiles et de proposer des solutions pour rattraper ce retard. La recherche permettra ainsi d'aider les entreprises de construction dans leur démarche d'innovation, en mettant à leur disposition des outils de développement et des conseils basés sur des données récoltées auprès de professionnels de la construction et sur des cas concrets étudiés dans le contexte particulier du Québec. Le fil conducteur suivi tout au long de ce mémoire est le travail **collaboratif et intégré**. La collaboration et la centralisation des données sont au cœur de toutes les discussions actuelles sur les nouvelles pratiques en gestion de projets de construction. Le schéma idéal pour un projet de construction serait la centralisation des données dans une base de données BIM unique (Eastman et al., 2011). Ce schéma reste encore utopique mais ce mémoire a pour but de donner aux entreprises les moyens de s'en rapprocher à l'aide des TM.

Ce mémoire présente dans un premier temps une revue de la littérature, la démarche méthodologique adoptée qui consiste en une série d'entrevues semi-dirigées et un projet pilote, puis les résultats obtenus grâce aux entrevues, et enfin l'analyse de ces résultats ayant conduit à la trousse d'outils et au développement des processus informatisés pour chaque acteur du projet.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

1.1 Pourquoi les TM ont le potentiel d'améliorer les performances dans l'industrie de la construction ?

Depuis les années 90, les rapports se bousculent sur le thème de la gestion des projets de construction. La performance dans les projets est un thème récurrent, et elle est souvent jugée en deçà des capacités de l'industrie de l'architecture, ingénierie, construction et propriétaire exploitant (AECO)¹. Sir John Egan (1998) et son équipe « Task Force » (Force d'intervention) statuent à la fin des années 90 que l'industrie AECO britannique est en sous-régime, impliquant qu'elle pourrait être plus performante. Ils soulignent le fait qu'elle est peu profitable et qu'elle investit peu dans le capital, la recherche et le développement, et la formation. Pour se donner les moyens de changer, l'industrie doit bouleverser sa culture, non seulement en modifiant ses méthodes de travail et son approche de la conception mais aussi entre autres son usage de la technologie. L'industrie AECO doit en effet se moderniser en tirant profit des dernières opportunités technologiques qui lui sont offertes. En 2009, un retour sur les progrès de l'industrie depuis le rapport d'Egan (Wolstenholme et al., 2009) déplore la faible proportion des objectifs de ce dernier qui ont été atteints comparativement à ceux qui sont tombés à l'eau. Onze ans après, le besoin de changement est donc toujours très fort. Ce constat est largement généralisable sur le plan international et en particulier pour le Canada. Les problèmes de performances présents au Royaume-Unis ne le sont pas moins au Canada. En l'occurrence, le Royaume-Uni est un bon comparatif en termes d'innovation puisque ses standards nationaux pour le BIM ont été utilisés par l'Institut pour le BIM au Canada (IBC) comme référence pour établir les standards du Canada. Les leçons apprises sont généralement applicables d'un pays à l'autre lorsque ceux-ci sont économiquement et culturellement comparables. La gestion des projets de construction fait face à un besoin

¹ L'acronyme correspond à l'expression anglaise :Architecture, Engineering, Construction and Owner-operated

global de changement pour accompagner le virage vers le BIM et les pratiques innovantes (pratiques intégrées, Lean Construction) qu'elle entreprend. Les TM sont des outils qui suggèrent la collaboration, le partage et l'automatisation des processus, autant de valeurs motrices pour le développement du BIM. Cette section vise à montrer que l'utilisation des TM pour la gestion des projets de construction a le potentiel d'introduire le changement de la bonne façon et d'inciter les professionnels à moderniser progressivement leurs pratiques pour mieux aborder le virage vers le BIM et les pratiques innovantes.

1.1.1 Les TM au service de l'information, de la communication et de la collaboration

L'industrie de la construction requiert l'échange quotidien d'une énorme quantité de données et d'information entre les participants au projet. La communication est donc un élément sur lequel il est intéressant de travailler et de s'améliorer (Aigbavboa, W.D. et Lesito, 2013). À cause de la nature hiérarchique et fragmentée de l'industrie AECO (Forgues et Staub-French, 2011; Gu et London, 2010), il est nécessaire d'avoir une gestion structurée des échanges d'information entre tous les intervenants et une coordination rigoureuse si on veut atteindre les objectifs fixés en termes de coût, de temps et de qualité (Toole, 2003). Les technologies du présent ouvrent de bien plus larges horizons pour la communication et le partage de documents dans le milieu professionnel que le courriel. Or, le courriel ou d'autres moyens de communication traditionnels comme les réunions ou l'échange de documents papier sont les outils les plus utilisés par les intervenants des projets de construction pour communiquer entre eux (Aigbavboa, W.D. et Lesito, 2013) et une grande partie des tâches qu'ils effectuent sont basées sur des feuilles volantes (Bowden et al., 2004). Ce paradoxe entre une industrie fragmentée, qui exige un niveau complexe de coordination et une informatisation qui peine à se mettre en place, conduit donc les chercheurs et les professionnels à voir le problème sous un autre angle : à savoir en quoi les conditions ne sont-elles pas favorables à l'informatisation dans la gestion des projets de construction ? À cette fin, des modes alternatifs de réalisation des projets de construction, de nouvelles pratiques, plus appropriés à la collaboration et plus adaptés à la communication entre intervenants ont été développés et proposés (Cook et Eckblad, 2007; Egan, 1998; Kang et al., 2013). Notamment l'un des

modes de réalisation les plus connus parmi les approches novatrices et collaboratives est l'approche Integrated Project Delivery (IPD) (Cook et Eckblad, 2007). L'approche IPD est basée sur des valeurs de collaboration, de confiance et de partage des risques et recommande pour la communication l'utilisation des technologies appropriées. Bowden et al. (2004) soutiennent aussi que, pour améliorer les performances des projets de construction en termes de temps, coûts, qualité, sécurité, respect de l'environnement et des personnes impliquées, les organisations de la chaîne d'approvisionnement de la construction doivent devenir plus intégrées en améliorant la collaboration interne et externe. Les recherches montrent aujourd'hui que les TM sont de bons outils pour introduire plus de communication et de collaboration sur un projet de construction tout en allant vers l'informatisation (Frenette, 2014; Kim et al., 2013). Quant au contexte entourant cette adoption, le prix abordable des appareils mobiles, le développement des réseaux sans fil et les avancées dans les performances des applications mobiles promettent à ce secteur un fort potentiel pour améliorer la gestion de l'information sur les chantiers (Chen et Kamara, 2011; Kim, Lim et Kim, 2011). Les bénéfices attribués à l'adoption des TM en construction sont déjà nombreux, bien que l'attention portée à ce domaine par les chercheurs soit récente. En effet, la recherche académique a commencé à montrer de l'intérêt pour les TM dans les projets de construction depuis seulement une dizaine d'années (Ferrada et al., 2014) tandis que les TI en construction sont évoquées par les chercheurs depuis les années 90 (Bakens, 1997; Brandon, Betts et Wamelink, 1998) et le BIM est né peu après la création des IFC (Industry Foundation Classes) en 1994 (Trollsås, 2014) et n'a cessé de susciter l'intérêt de la recherche depuis. L'informatique mobile est donc un thème plus récent, mais qui n'en demeure pas moins source d'intérêt maintenant, et notamment grâce à une nouvelle dimension apportée à la gestion de projets de construction qui est l'accès « universel » aux données de projets. Cet accès est rendu possible par l'infonuagique (Cloud Computing) qui est discuté dans la section suivante. Outre les moyens technologiques, les TM apportent aussi des avantages stratégiques pour améliorer la gestion de l'information et la collaboration : leur facilité d'utilisation et leur capacité à s'adapter au contexte et à réduire la quantité d'information permet de faire face aux problèmes de complexité et de répétition dans un projet. Grâce aux TM, l'utilisateur peut avoir accès à une interface appropriée qui reflète l'arborescence de ses

activités. L'acquisition de données sur le chantier peut ainsi être améliorée (Menzel, Keller et Eisenblätter, 2004). L'adaptation de l'outil est effectivement un critère capital puisque l'utilisateur qui travaille sur le chantier de construction ne doit ni être submergé d'information inutile, ni ralenti dans son travail par des services inappropriés ou des systèmes trop lourds (Reinhardt, Garrett Jr et Scherer, 2000). En cela les TM sont des outils appropriés au contexte du chantier de construction. De plus, de nombreuses études et projets pilotes permettent d'attribuer à l'utilisation des TM des bénéfices plus larges pour les projets de construction, comme une meilleure productivité (Bowden et al., 2006; Sacks et al., 2013; Saidi, Haas et Balli, 2002) qui est souvent liée à une information mieux ciblée, ou encore une meilleure efficacité (Chen et Kamara, 2011; Frenette, Forgues et Tahrani, 2014; Kim et al., 2013). Ainsi, les bénéfices que peuvent apporter les TM sont multiples mais reposent principalement sur une base commune qui est l'amélioration de l'accès, du classement et du partage de l'information.

Les ressources dégagant des bénéfices aux TI et aux TM ne manquent pas, mais dans tous les cas, les bénéfices ne sont observés que dans un contexte d'implémentation particulier, où la technologie se positionne en tant qu'outil et non en tant qu'objet du changement qui touche à la fois l'organisation et ses processus, et où son implémentation s'accompagne des meilleures pratiques et d'un changement dans les processus (Kang et al., 2013)

1.1.2 L'infonuagique au service du chantier

L'un des plus grands atouts des TM pour pallier aux problèmes de communication et au manque de collaboration dans les projets de construction est celui de centraliser l'information et d'offrir un accès à celle-ci en continu et à n'importe quel endroit grâce à l'utilisation de l'infonuagique. L'infonuagique est un service permettant un accès facile, sur demande et en tout lieu à un réseau partagé de ressources informatiques (réseaux, serveurs, stockage, applications et services). L'accès peut être approvisionné rapidement et avec un minimum d'effort de gestion ou de service d'interaction avec le fournisseur (Mell et Grance, 2011). Ces derniers ont ainsi accès aux dernières versions des documents, et peuvent modifier ou

partager des données en tout temps, indépendamment de l'endroit où ils se trouvent (Son et al., 2012; Venkatraman et Yoong, 2009).

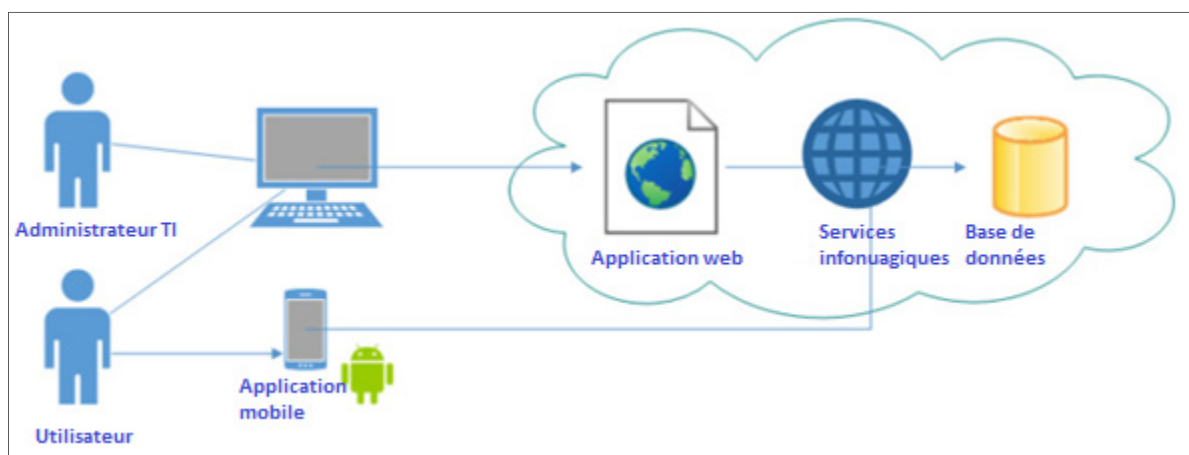


Figure 1.1 Fonctionnement d'une application infonuagique vis-à-vis des données de projet
Adaptée de Ferrada et al. (2014)

Le chantier se trouve traditionnellement coupé du reste du projet (Hewage et Ruwanpura, 2009), car le personnel de chantier (gérant de projet, chef de chantier ou surveillant) n'est pas en mesure de se connecter aux systèmes de gestion de l'information lorsqu'il est en dehors du bureau (Chen et Kamara, 2011; Menzel, Keller et Eisenblätter, 2004). En étant connecté au nuage, le personnel a un accès direct aux plans et documents à travers les tablettes et téléphones intelligents qui peuvent aujourd'hui être robustes et tout à fait adaptés aux conditions du terrain. Actuellement, l'utilisation des technologies infonuagiques est encore un défi pour les entreprises de construction (Ferrada et al., 2014). La sécurité et la confidentialité représentent un frein à l'adoption de l'infonuagique par les entreprises qui ont du mal à faire confiance à une autre entité que la leur pour le stockage de leurs données (Ren, Wang et Wang, 2012). Pourtant, un département TI n'est pas forcément plus sûr qu'une gestion des données dans le nuage car il est quand même connecté à internet et donc vulnérable aux cyberattaques. En fait, certains hébergeurs comme Amazon ou Microsoft par exemple ont des moyens pour éviter des cyberattaques que certains serveurs privés n'ont pas (Brender et Markov, 2013). Les petites organisations avec peu de moyens ont donc intérêt à faire appel à ces hébergeurs pour que leurs données soient plus en sécurité. Avec la

démocratisation de l'usage des technologies infonuagiques pour le quotidien, le scepticisme des entreprises envers ces services pourrait s'amoinrir, d'autant que l'appel à des services infonuagiques pour la gestion de l'information apporte généralement plus de facilité d'utilisation. Une étude sur l'utilisation des services infonuagiques par de petites et moyennes entreprises indique que la facilité d'utilisation est le plus gros facteur cité par ces compagnies pour l'adoption de l'infonuagique, suivi d'une meilleure sécurité et une meilleure confidentialité (Gupta, Seetharaman et Raj, 2013).

1.1.3 Les applications au service de la gestion

Cisco (2013) prévoit que d'ici 2018, les applications mobiles infonuagiques compteront pour 90 % du trafic de données mobiles total, ce qui représente un taux de croissance annuel de 64 %. Il existe une vraie croissance qui va vers les applications mobiles infonuagiques. Mtibaa et al. (2015) soulèvent aussi très récemment l'avènement de l'informatique portable et la résultante croissance dans le marché des applications mobiles. Cette croissance exponentielle des dernières années va sans doute se mettre au service de la gestion de la construction puisqu'elle va permettre de banaliser l'utilisation des TM, ce qui peut faire avancer l'intégration de la mobilité en construction (Aziz, Harun et Alaboud, 2016). On constate en effet de plus en plus d'intérêt pour les applications mobiles destinées à la construction, à la fois de la part de la recherche académique et de l'industrie. Du côté académique, les applications mobiles sont développées pour satisfaire à différents processus de la phase de réalisation des projets comme le suivi de l'avancement, la documentation, la gestion des déficiences, la santé et la sécurité, etc. La conception, le développement et l'utilisation de systèmes mobiles de gestion de l'information pour la construction représente une grande proportion des efforts de recherche sur les TM en construction (Chen et Kamara, 2011). Le Tableau 1.1 résume une partie des recherches sur le développement d'applications mobiles dans les dernières années.

Tableau 1.1 Résumé des recherches académiques sur le développement d'applications mobiles pour la construction ces dernières années
Adapté de Nourbakhsh et al. (2012)

Référence	Nom	Fonction	Appareil
(Kimoto et al., 2005)	-	Inspections, suivi de l'avancement	Agenda électronique personnel
(Dong et al., 2009)	-	Suivi des déficiences	Téléphone Nokia N80
(Irizarry et Gill, 2009)	Construction Equipment Finder (CEF)	Gestion et localisation de l'équipement	iPhone
(Irizarry et Gill, 2009)	Be Safe	Sécurité	iPhone
(Venkatraman et Yoong, 2009)	Clikifax	Collaboration (communication et gestion de documents)	Téléphone Sony
(Nourbakhsh et al., 2012)	CMA	Gestion de toute l'information de projet	Téléphone mobile (non précisé)
(Bae, Golparvar-Fard et White, 2013)	HD ⁴ AR	Gestion des installations	Téléphone intelligent (iOS et Android)
(Kim et al., 2013)	-	Accès à l'information et aux tâches suivant leur localisation	iPhone
(Le et al., 2015)	VR + AR	Apprentissage de la sécurité à travers la réalité augmentée et la réalité virtuelle	iPhone/iPad

La conception et le développement d'applications par les chercheurs sont nombreux et cela montre le besoin de la part de l'industrie de la construction d'avoir des outils plus adaptés. Les outils de développement comme les Software Development Kits (SDK) se font de plus en plus accessibles et appuient ainsi l'innovation dans les applications mobiles pour la construction. Les chercheurs ne sont cependant pas les seuls à concevoir et à développer des applications mobiles. De plus, il est rare que celles-ci soient commercialisées par la suite, la recherche ayant surtout un but démonstratif. Beaucoup d'entrepreneurs développent des applications mobiles destinées au grand public ou à l'industrie. Depuis l'apparition des magasins d'applications Apple et Android, le nombre de développeurs d'applications mobiles ne cesse d'augmenter. En 2012, on comptait 1,793 millions de développeurs à travers le monde² tandis qu'une étude réalisée par Evans Data Corp. décomptait 8,7 millions de développeurs en 2014³, ce qui multiplie presque le nombre de développeurs par 5 en l'espace de deux ans. Parmi toutes les applications, celles destinées aux entreprises sont celles qui rapportent le plus d'argent aux développeurs selon une étude de Dot Com Infoway (juin 2015). En effet, les entreprises sont plus prêtes à payer pour un logiciel qui les aide à être plus productif et à gagner de l'argent, tandis que les consommateurs individuels ne sont pas désireux de déboursier de l'argent pour des applications mobiles. Le contexte économique actuel est donc très favorable au développement d'applications dédiées au milieu professionnel de la construction, et celles-ci ne manquent pas de voir le jour. En fait les applications pour la construction se bousculent actuellement dans les magasins d'applications comme Google Play ou App Store d'Apple car les développeurs ont saisi le fort besoin de mobilité et d'automatisation sur les chantiers.

² Source : Voskoglou, Christina. 2013. « Sizing the app economy ».

< <http://www.developereconomics.com/report/sizing-the-app-economy/> >. Consulté le 03/02/2016

³ Source : Schick, Shane. 2014. « Evans Data: Mobile developers now number 8.7 million worldwide ».

< <http://www.fiercedeveloper.com/story/evans-data-mobile-developers-now-number-87-million-worldwide/2014-06-20> >. Consulté le 03/02/2016

L'équipe de recherche du laboratoire du GRIDD de l'ETS Montréal (Forgues, Tahrani et Frenette, 2014) a commencé en 2013 à survoler les différentes applications existantes sur le marché pour le construction , se concentrant sur leurs fonctionnalités et la popularité qu'elles connaissent auprès des entreprises. Leur guide recense les applications mobiles les plus utilisées en construction aux États-Unis et au Québec. Le Tableau 1.2 montre les dix applications mobiles les plus utilisées aux États-Unis en 2013 selon une étude parue dans Engineering News-Record (ENR). Le Tableau 1.3 montre les applications les plus utilisées dans la province du Québec.

Tableau 1.2 Les 10 applications les plus utilisées en construction aux États-Unis en 2013.
Adapté de Forgues, Tahrani et Frenette (2014)

Nom de l'application	Fonction	Plateforme
Blubeam Revu	Annotation et mesure de PDF et collaboration entre intervenants	iPad
Autodesk BIM 360 Field	Outil de gestion de projet complet comprenant de nombreuses fonctionnalités	iOS/Android
PlanGrid	Outil de gestion des documents de projet et de collaboration	iPad
Dropbox	Partage et stockage de grandes quantités de données	iOS/Android/Tablette PC
Good Reader	Lecteur de PDF qui permet d'annoter et d'ouvrir un large éventail de formats de fichiers	iOS/Android
Decibal Ultra Pro	Permet de mesurer le niveau sonore et de garder en mémoire les données des tests précédents	iOS
Evernote	Prise de notes, mémos vocaux et autres pièces jointes. Se synchronise entre les différents appareils.	iOS/Android/Tablette PC
Tracing Paper Lite	Prise de photo et documentation des conditions existantes dans un bâtiment.	iOS
eWeather HD, Alerts Hi-Def Radar	Accès aux données météorologiques y compris les tremblements de terre	iOS
OSHA Heat Index	Pour vérifier facilement les conditions de sécurité sur le chantier en cas de forte chaleur	iOS/Android/Blackberry

Tableau 1.3 Les 10 applications les plus utilisées en construction au Québec en 2014
Adapté de Forgues, Tahrani et Frenette (2014)

Nom de l'application	Fonction	Plateforme
Adobe Reader	Annotation de PDF	iOS/Android
PDF Reader	Annotation de PDF	iOS
Dropbox	Partage et stockage de grandes quantités de données	iOS/Android/Tablette PC
Skype	Vidéoconférence	iOS/Android
FaceTime	Vidéoconférence	iOS
iCloud	Partage et stockage de grandes quantités de données	iOS
Serveur privé	Partage et stockage de grandes quantités de données. Collaboration et édition de documents	Variable
Google Drive	Partage et stockage de grandes quantités de données. Collaboration et édition de documents	iOS/Android
Evernote	Prise de notes, mémos vocaux et autres pièces jointes. Se synchronise entre les différents appareils.	iOS/Android/Tablette PC

On voit à travers ces descriptifs que chaque application a des fonctionnalités spécifiques mais celles-ci ont tendance à se rejoindre sur certains aspects. Certaines applications permettent d'aller plus ou moins loin dans le niveau de gestion ou dans la mobilité. Afin de ne pas se noyer dans le flot d'applications, certaines études les ont classifiées en différentes catégories. Par exemple, Chen et Kamara (2008) séparent les applications mobiles destinées à la construction en trois catégories : les applications de CAO, les applications de capture de données, et les applications de gestion de projet, la dernière offrant visiblement le plus grand

niveau de collaboration. Dans cette même idée, les recherches de Frenette (2014), qui ont précédé ce mémoire, ont mis en évidence quatre catégories d'applications, qualifiées de « niveaux de maturité ». En effet, après avoir fait une enquête provinciale au Québec, questionnant 14 entreprises innovantes de l'industrie de la construction sur leur utilisation des TM, les données obtenues ont mis en évidence les bénéfices, les limitations et la nature de l'utilisation des TM par les entreprises québécoises, conduisant à suggérer un cadre conceptuel déterminant à quel niveau de maturité se trouve une entreprise qui utilise telle ou telle application. La Figure 1.2 présente les quatre niveaux de maturité distingués par Frenette.

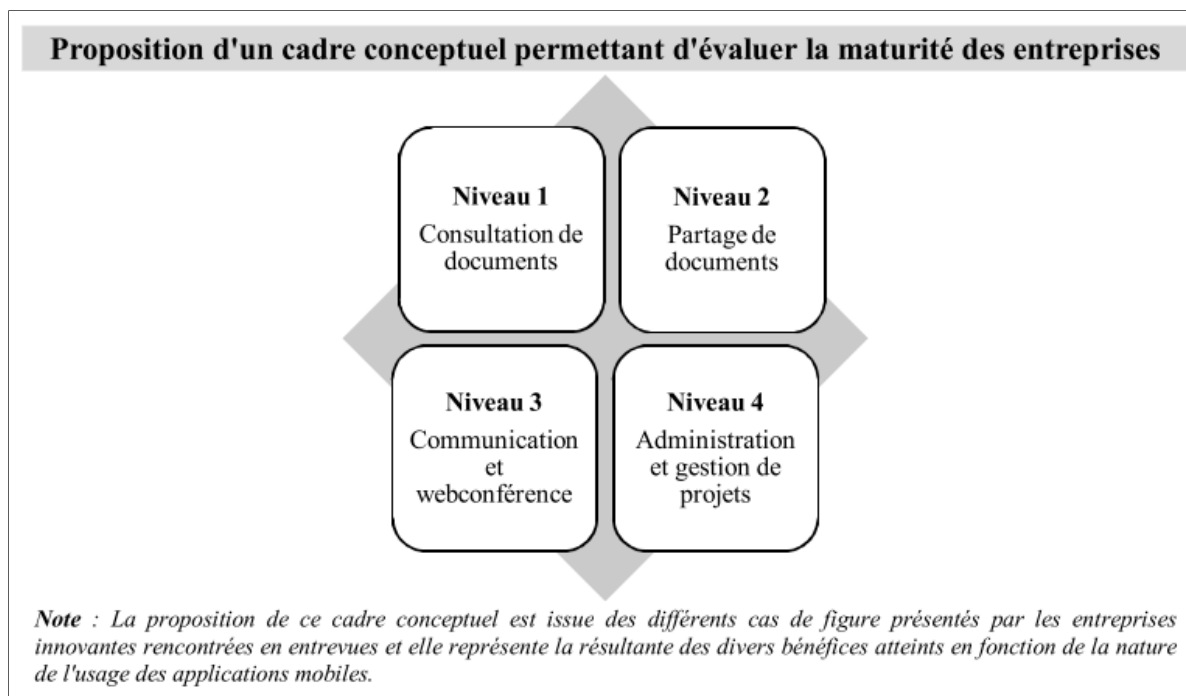


Figure 1.2 Les quatre niveaux de maturité
Tirée de Frenette (2014)

Le niveau 1 correspond au plus bas niveau de maturité, tandis que le niveau 4 correspond à un niveau d'utilisation plus poussé. Ce cadre conceptuel sert de base à ce mémoire dans lequel les recherches se concentrent sur l'utilisation des outils de niveau de maturité 4. En effet, le niveau 4 correspondant à l'administration et la gestion des projets de construction est

celui qui présente le plus fort potentiel d'amélioration des performances et qui appelle le plus à la communication et à la collaboration.

1.2 Les barrières à l'implémentation des TM en construction

Les TM sont des outils d'automatisation et de gestion de l'information. Leur utilisation a le potentiel d'améliorer les problèmes de l'industrie de la construction cités plus haut. Pourtant elles sont peu adoptées au Québec. Cette section met en avant les défis rencontrés par les entreprises voulant implémenter les TM et explique comment les TM, utilisées comme outil de changement, ont le potentiel d'apporter des solutions aux problèmes de performance de l'industrie AEC dans la gestion de projets, et en particulier pendant la phase de réalisation des projets de construction.

1.2.1 Les défis rencontrés lors de l'implémentation

Selon Sargent, Hyland et Sawang (2012), les facteurs qui influencent le plus l'adoption d'une nouvelle technologie dans une entreprise de construction sont l'appui de la haute direction, l'appréhension de l'effort et des conditions internes favorables. Par ailleurs, bien que les développeurs travaillent maintenant de plus en plus étroitement avec les acteurs de la construction pour créer des applications répondant à leur besoins, le manque de communication à ce niveau est longtemps ressorti comme un frein pour la mise en place des technologies sur le chantier (Garrett Jr et Sunkpho, 2000). La nécessité pour les développeurs d'applications mobiles de se rendre sur le terrain est donc encore soulignée à l'heure actuelle, car comme pour toutes les autres technologies, les solutions doivent être adaptées aux besoins et aux préférences de travail des utilisateurs et des compagnies (Gu et London, 2010). Ces défis sont liés à des conditions sur le terrain et sont directement maîtrisables par les personnes ou entités impliquées. Si l'on se penche du côté légal et politique du problème, on découvre d'autres défis, plus difficilement surmontables tels que les types de contrats et modes de réalisation les plus utilisés actuellement, qui sont peu adaptés à l'adoption des technologies (Eastman, 2011). Ils représentent en fait un frein au travail collaboratif et intégré, le problème résidant toujours dans le fait que l'industrie AECO est fragmentée et que

les processus sont en silo (Cook et Eckblad, 2007; Gu et London, 2010). Il existe donc un premier besoin qui est d'informer l'industrie AECO, et notamment les clients, publics et privés, des avantages qu'ils peuvent tirer du travail collaboratif et des nouvelles pratiques qui y sont reliées. Ainsi, ils pourront se tourner vers d'autres solutions de contrats et d'autres modes de réalisation dans le but de transformer les relations entre les intervenants. Les gouvernements ont aussi un rôle déterminant et sont des entités que les chercheurs doivent informer sur le sujet des enjeux de la collaboration en construction. Plusieurs pays comme les États-Unis, le Royaume-Uni ou les pays scandinaves se trouvent en avance sur d'autres, tant l'implication de l'État peut forcer l'innovation lorsque des règles sont imposées telles que le BIM obligatoire dans les marchés publics (Egan, 1998; Wong, Wong et Nadeem, 2010). Le Canada se trouve par ailleurs assez en retard vis-à-vis des États-Unis dans son niveau d'utilisation des technologies mobiles en construction (Forgues, Tahrani et Frenette, 2014). Ce qui ressort beaucoup comme barrière à l'implémentation de nouvelles technologies sur le chantier (notamment dans le contexte du BIM où certains outils mobiles doivent être mis en place) est non seulement le manque de communication et de coordination entre les disciplines mais aussi la nature temporaire des équipes. Le temps consacré à la gestion de la mobilité (qui n'est pas toujours compris comme étant un investissement rentable) et le manque de reconnaissance de la part des clients publics de la valeur ajoutée de la technologie sont également évoqués comme étant des barrières à l'adoption (Forgues et Staub-French, 2011). Aigbavboa, W.D. et Lesito (2013) soulèvent encore d'autres défis à la mise en place des TM sur le chantier comme le fort investissement initial ou le manque de temps de la part des décideurs pour gérer la technologie. Du côté des utilisateurs, ces derniers manifestent souvent leur résistance au changement (Forgues, Tahrani et Frenette, 2014) et Usman et Said (2012) relèvent aussi le manque d'intérêt de certains utilisateurs car ils ne voient pas de retombée personnelle à l'utilisation des technologies.

1.2.2 Les TM : un outil et non pas une solution

La section précédente soulève un point important qui est le besoin d'informer les professionnels et les clients sur les avantages et les bénéfices prouvés de la collaboration dans les projets de construction et des nouvelles pratiques. Par ailleurs, les défis qui se présentent lors de l'implémentation des TM soulèvent aussi d'autres besoins. Par exemple, la résistance au changement, l'appréhension de l'effort ou le manque d'intérêt des utilisateurs, ainsi que les conditions internes et l'appui de la haute direction sont des défis liés à la stratégie d'implémentation. Une utilisation efficace des TM demande une compréhension profonde des activités concernées et de leurs interconnexions. Les modèles de gestion et les processus actuels doivent être analysés et transformés pour exploiter l'entier potentiel des TM (Garrett Jr et Sunkpho, 2000). Les TM doivent être vues comme outil au changement des processus de l'entreprise et non comme solution directe. Malheureusement, l'absence de standards de développement dans les TM pour la construction mène au fait que les avantages, défis et limitations de ces technologies ne peuvent être révélés que par des tests sur le terrain de différentes solutions. L'analyse de ces résultats mènera peu à peu à une intégration des TM par l'industrie AEC, et pour atteindre cet objectif, il est absolument nécessaire de développer et définir des lignes directrices et des standards de réingénierie des processus (Menzel, Keller et Eisenblätter, 2004). À l'heure actuelle, beaucoup de solutions mobiles ont été testées sur le terrain et ont fait l'objet d'études de cas, ce qui permet de documenter les leçons apprises. Il est alors maintenant possible de bâtir des lignes directrices fondées, qui faciliteront la mise en place des TM et éviteront aux entreprises de passer par une phase d'échec et de reprise, en allant directement vers une implantation réussie. Il a été vu plus haut que les récentes avancées technologiques en termes d'appareils et d'applications mobiles allaient permettre de développer les TM en construction. Cependant la grande disponibilité des technologies mobiles ne doit pas se traduire en une adoption précipitée et irréfléchie (Bowden et al., 2004).

1.3 Le cas particulier du Québec

Le Québec fait partie des régions qui ont soif de perfectionnement pour leur industrie, et comme il a été vu dans la section 1.1.3, les entreprises québécoises de construction font déjà usage de certaines TM dans leurs projets. Cependant, l'étude de Forgues, Tahrani et Frenette (2014) souligne le fait que le Québec est aussi en retard par rapport aux États-Unis dans son utilisation des TM en construction. En effet, selon un sondage à l'échelle provinciale, mobilisant 700 répondants sur leur usage des TM, les entreprises québécoises font un usage des applications mobiles de niveau 1 à 3 sur l'échelle de maturité (voir Figure 1.2), tandis que les entreprises américaines font un usage des applications de niveau 4 sur l'échelle de maturité. Le besoin est donc présent de permettre à l'industrie de la construction québécoise de passer au niveau 4 sur l'échelle de maturité d'utilisation des TM, c'est-à-dire une administration et une gestion des projets grâce aux applications mobiles actuellement disponible. Pour cela il est important d'informer l'industrie québécoise des solutions mobiles qui s'offrent à elle, de leur fort potentiel et des lignes directrices à suivre pour réussir une transition vers un nouveau mode de travail. La particularité du Québec réside aussi dans une culture proche de celle des États-Unis tout en ayant comme langue officielle le français. Sa proximité culturelle avec les États-Unis lui permet de pouvoir compter sur les applications mobiles qui fonctionnent là-bas pour avoir un même succès ici. Cependant certains projets de construction requièrent la langue française alors que toutes les applications mobiles ne sont pas disponibles dans cette langue, et il en va de même pour les notices d'utilisation ou le soutien de la part du fournisseur. Les besoins de l'industrie AECO québécoise ne sont donc pas des besoins universels mais bien des besoins particuliers à prendre en compte. Les travaux de recherche et les guides pour l'implémentation des TM dans les entreprises de construction se concentrent également beaucoup sur les États-Unis (Garrett Jr et Sunkpho, 2000; Irizarry et Gill, 2009), le Royaume-Uni (Bowden et al., 2004; Chen et Kamara, 2011) et l'Asie (Kim et al., 2013; Le et al., 2015; Son et al., 2012) et peu sur le Canada, encore moins sur le Québec.

Le marché des applications mobiles est très implanté et il continue de se développer. Les québécois ont déjà franchi le virage vers les TM puisque 52% d'entre eux possèdent un téléphone intelligent en 2014, contre 44% en 2013 et 32% en 2012, et 39% d'entre eux possèdent une tablette numérique en 2014 contre 26% en 2013 et 13% en 2012 (Beaudoin, Bourget et Mallette-Vanier, 2015). Les entreprises font preuve d'enthousiasme à l'égard des applications mobiles pour la gestion de projets.

En résumé le contexte est là, les conditions du Québec sont favorables à l'implantation des TM pour la gestion de l'information dans l'industrie de la construction et des **besoins** de changement dans la réalisation des projets de construction existent. Ces besoins peuvent effectivement être comblés par l'utilisation des TM et mener à des **retombées** positives, mais cela uniquement si une **stratégie** réfléchie et adaptée encadre cette utilisation qui, dans le cas contraire, se heurte à des **défis**. Cette logique a mené à l'établissement des quatre axes de discussions suivis pour les entrevues semi-dirigées de ce mémoire :

- besoins (Identifier les besoins qui ont poussé l'entreprise à vouloir introduire une TM dans ses processus de gestion) ;
- stratégie (Quelle démarche stratégique l'entreprise a-t-elle employée pour réussir la mise en place de la TM ?) ;
- défis (À quels problèmes l'entreprise s'est-elle heurtée lors de l'implémentation et l'utilisation ?) ;
- retombées (Quelles retombées positives conséquentes au nouveau mode de fonctionnement ont pu être mesurées ?).

Le chapitre suivant présente la démarche de recherche qui a été employée pour ce mémoire et décrit la méthodologie suivie pour la collecte des données grâce aux entrevues semi-dirigées.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Ce projet de recherche se situe dans le domaine des sciences de la conception (Design Science). Le concept de Design Science est apparu dans les années 60 (Fuller et McHale, 1965) et a évolué au fil des décennies, notamment vers les sciences de la conception pour les systèmes d'information (March et Storey, 2008; Peffers et al., 2007) qui cherchent à élargir les frontières des capacités humaines et organisationnelles en créant ou en améliorant des artefacts de façon innovante (Hevner et al., 2004; Wieringa, 2009). La recherche en sciences de la conception se base sur le cycle régulateur décrit dans la figure ci-dessous :

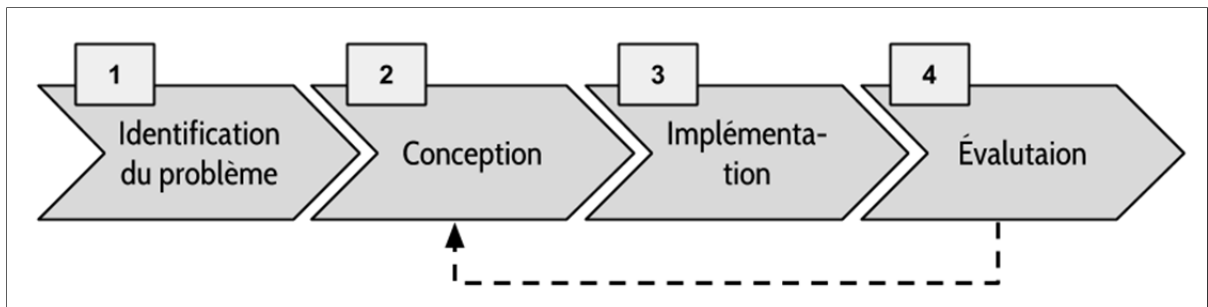


Figure 2.1 Cycle régulateur de la recherche en sciences de la conception pour les systèmes d'information
Adaptée de Bilandzic et Venable (2011) et de Wieringa (2009)

Les quatre étapes simples (identification du problème, conception de la solution, implémentation et évaluation) du modèle ont été mises en évidence à plusieurs reprises dans les travaux de recherche sur les sciences de la conception et permettent de s'appuyer sur une procédure de recherche commune et d'exposer clairement ses résultats. La méthodologie employée pour ce projet de recherche repose donc sur les quatre étapes du cycle régulateur.

L'étape de conception du cycle régulateur de ce projet se base sur des études de cas composées d'entrevues. En effet, les recherches sur le sujet de l'adoption des TM ou des TI

et du BIM en construction se basent très souvent sur des entrevues (Aziz, Anumba et Pena-Mora, 2009; Chen et Kamara, 2011; Chen et Kamara, 2008; Ferrada et al., 2014; Forgues, Tahrani et Frenette, 2014; Gajendran et Brewer, 2012; Gu et London, 2010; Olofsson et Emborg, 2004), et sur des études de cas (Bowden et al., 2006; Chen et Kamara, 2011; Chen et Kamara, 2008; Ferrada et al., 2014; Frenette, 2014). Ces dernières sont adaptées au contexte industriel de ce type de recherche, et notamment les entrevues semi-dirigées peuvent fournir des données qualitatives fiables et comparables (Cohen et Crabtree, 2006) puisqu'elles permettent de suivre la même ligne de discussion pour toutes les entrevues. L'analyse des données d'entrevues s'est appuyée sur le modèle de l'étude de Gu et London (2010), dans laquelle les chercheurs ont fait un croisement entre le contenu des discussions et le profil des participants (architecte, ingénieur, entrepreneur, etc.), ce qui permet de dégager les problèmes clés liés à l'adoption du BIM. Cette méthode est utilisée ici pour identifier les problèmes clés liés à l'adoption des TM.

Ce chapitre présente la vue d'ensemble de la méthodologie de recherche employée pour ce projet, puis une description détaillée de chaque partie.

2.1 Vue d'ensemble de la méthodologie

L'approche méthodologique permettant d'atteindre les objectifs de ce mémoire se scinde en trois grandes parties.

La **Partie I** est la conduite de sept études de cas auprès de professionnels mettant en place une TM dans leur entreprise. Les données des études de cas ont été récoltées à l'aide d'entrevues et d'observations sur le chantier. Les résultats de ces études de cas ont servi à l'établissement d'un guide pour l'implantation d'une TM au sein d'une entreprise. Une partie de ce guide est constituée de la cartographie de plusieurs processus. La méthodologie utilisée pour la cartographie des processus est expliquée dans la seconde partie de ce chapitre.

La **Partie II** est donc la cartographie de plusieurs processus afin de mettre en évidence l'amélioration de ceux-ci après l'implantation d'une TM. Les processus « initiaux » (i.e. avant la mise en place de la technologie) sont comparés aux processus « finaux » (i.e. après la mise en place de la technologie)

Enfin, la **Partie III** consiste en un projet pilote où le Guide des Technologies Mobiles a été appliqué afin de répondre aux besoins d'une entreprise souhaitant mettre en place une TM sur la globalité d'un projet de construction afin de promouvoir la collaboration entre tous les intervenants.

La Figure 2.2 résume les grandes étapes de la méthodologie de recherche :

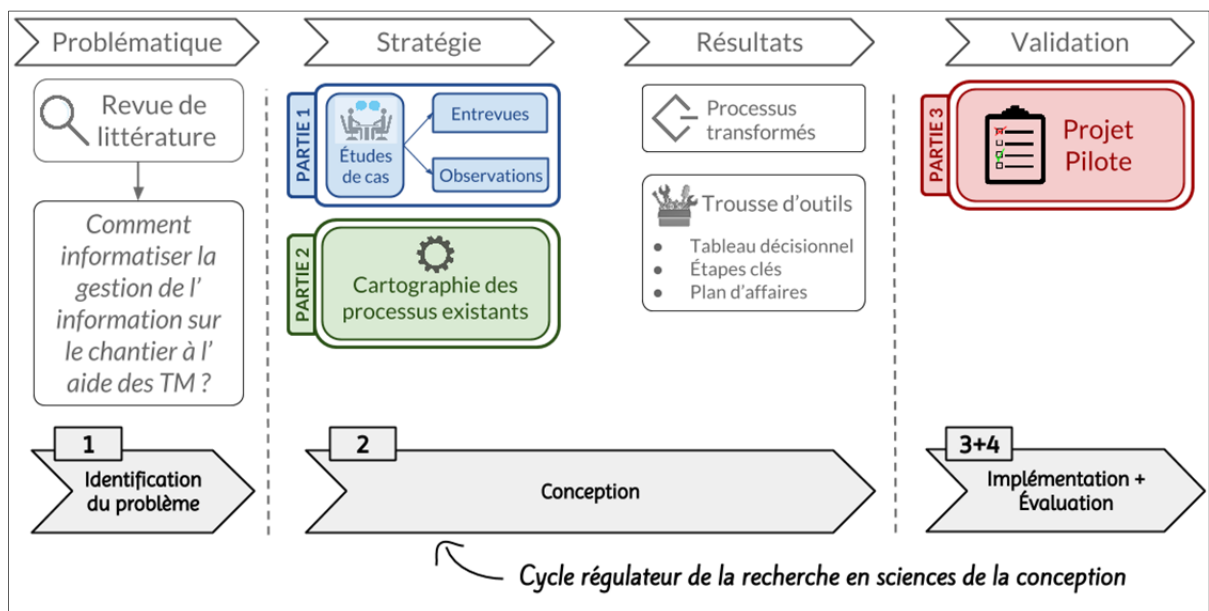


Figure 2.2 Vue d'ensemble de la méthodologie de recherche employée et répartition des étapes de recherche dans le cycle régulateur de la recherche en sciences de la conception

Les sections suivantes décrivent plus en détail les parties I, II et III de la méthodologie de recherche qui sont respectivement représentées en bleu, vert et rouge sur la Figure 2.2 ci-dessus.

2.2 **Partie I : Études de cas**

Le but des études de cas est de développer par la suite un guide d'implémentation des TM pour les entreprises de construction. **Sept** études de cas impliquant 16 personnes ont été conduites auprès d'entreprises de la construction (architectes, ingénieurs, entrepreneurs, etc.) ayant décidé de mettre en place une TM pour la gestion de l'information dans les projets de construction.

Chaque étude de cas se compose d'au moins une entrevue semi-dirigée avec une ou plusieurs personne(s) de l'entreprise. Les données ont parfois été complétées par une seconde entrevue et/ou des observations sur le terrain de l'utilisation de la TM. Par exemple, pour une entreprise en début d'implantation ou de projet pilote, une seconde entrevue semi-dirigée en fin de test ou plus tard dans l'implémentation a permis de voir l'évolution de la situation, et d'avoir des données plus riches. La Figure 2.3 en page suivante décrit les caractéristiques des participants aux sept études de cas et précise quelles études de cas ont fait l'objet d'observations sur le terrain.

		Personne 1	Personne 2	Personne 3	Personne 4	Personne 5	Personne 6	Personne 7	Personne 8	Personne 9	Personne 10	Personne 11	Personne 12	Personne 13	Personne 14	Personne 15	Personne 16	observations sur le terrain
Type d'entreprise	EDC 1 : Firme d'architecture 1 *	X	X	X														oui
	EDC 2 : Firme d'architecture 2 *				X	X												oui
	EDC 3 : Firme d'ingénierie						X											non
	EDC 4 : Entrepreneur 1							X	X									non
	EDC 5 : Entrepreneur 2 *									X	X	X						oui
	EDC 6 : Fabricant-concepteur												X					non
	EDC 7 : Gestion immobilière *													X				non
	Développeur 1 *															X		
	Développeur 2 *																X	
	Développeur 3 *																	
Fonction	Gestionnaire de projet									X	X	X	X	X				
	Technologue					X												
	Architecte		X	X	X													
	Chargé de projet		X															
	Resp. innovations technologiques				X													
	Coordonnateur innovations	X					X		X									
	Gestionnaire BIM							X										
	Représentant outil technologique															X	X	
Profil	Décideur	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X				
	Utilisateur		X	X		X	X			X	X	X	X	X				
	Développeur/vendeur															X	X	
	* Lorsque les cases sont de la même couleur, cela signifie que l'entreprise met en place la technologie du développeur correspondant.																	

Figure 2.3 Description des participants aux sept études de cas

Le but de ces entrevues étant de récolter des données sur l'aspect stratégique de l'implémentation, les participants avaient majoritairement un profil de « décideur » dans l'entreprise. Cependant certains utilisateurs ont aussi été interrogés, et, lorsque cela était possible, nous nous sommes aussi entretenus avec les développeurs de la technologie mise en place. Trois profils de participants (décideur, utilisateur et développeur) ont donc été identifiés et ont servi par la suite à l'établissement des questionnaires d'entrevues. Les trois

profils de participants ont en effet suggéré trois questionnaires différents, adaptés au contexte de l'interlocuteur. En revanche, les trois questionnaires suivent les mêmes axes de discussion (**besoins, stratégie, retombées et défis**), seules quelques questions changent de formulation. Cela permet de garder une structure claire dans le classement des données et de pouvoir les comparer. Les trois questionnaires d'entrevue sont présentés en ANNEXE I, ANNEXE II et ANNEXE III de ce mémoire. Tong, Sainsbury et Craig (2007) soulignent le fait qu'il est important que le lecteur d'une étude puisse en juger des résultats en toute connaissance de cause sur l'obtention de ceux-ci. En effet, il est difficile d'assurer l'absence totale de biais dans la recherche qualitative, tant les données sont subjectives et le contexte hétérogène. Cependant, plus le lecteur peut prendre connaissance de ces biais en étant informé sur la démarche de collecte et d'analyse des données, plus il aura un réel intérêt à lire les résultats. Les figures 2.4, 2.5 et 2.6 ci-après répondent à une série de 20 questions sur le contexte des entrevues semi-dirigées conduites pour cette étude, afin de fournir un rapport clair et explicite au lecteur, et de résumer la démarche de recherche.

		EDC 1		EDC 2		EDC 3	EDC 4	EDC 5			EDC 6	EDC 7
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
Équipe de recherche	1 Intervieweur(s) <i>Qui a conduit l'entrevue ?</i>	ST, MP	MP	ST, MP	ST, MP	ST, MP	ST, MP	SF	SF	SF	ST, MP	MP
	2 Relation établie <i>L'équipe de recherche avait-elle déjà établi une relation avec les participants avant l'étude ?</i>	non	non	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non
	3 Connaissance participant/intervieweur(s) <i>Quelles étaient les connaissances des participants à propos des intervieweurs ?</i>	Description du laboratoire de recherche et du projet envoyé aux participants, ainsi qu'une entente de confidentialité										
<p>* MP : Manon Pouteau, étudiante à la maîtrise, laboratoire du GRIDD, ÉTS Montréal. Expérience en entrevues avant cette étude : novice</p> <p>ST : Souha Tahrani, PhD, associée de recherche, laboratoire du GRIDD, ÉTS Montréal. Expérience en entrevues avant cette étude : habituée</p> <p>SF : Sébastien Frenette, M.SC.A, laboratoire du GRIDD, ÉTS, Montréal. Expérience en entrevues avant cette étude : novice</p> <p>** Ces entrevues ont été conduites antérieurement par un autre élève du laboratoire du GRIDD (sur la base d'un questionnaire similaire à celui utilisé pour les entrevues de cette étude), d'où l'absence de réponse pour certaines questions.</p>												

Figure 2.4 Contexte des entrevues semi-dirigées : équipe de recherche

		EDC 1		EDC 2		EDC 3	EDC 4	EDC 5			EDC 6	EDC 7
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
Conception de l'étude	4 Échantillonnage <i>Comment les participants ont-ils été sélectionnés ?</i>	Les participants ont été sélectionnés d'abord parmi les contacts du laboratoire de recherche, puis d'autres entreprises de la région de Montréal ont été approchées, toutes ayant en commun le fait d'être innovantes et d'avoir décidé de mettre en place une TM pour la gestion de l'information dans leurs projets.										
	5 Méthode d'approche <i>Comment les participants ont-ils été approchés ? (en personne, téléphone, e-mail, etc.)</i>	e-mail	e-mail	e-mail	e-mail	Tel.	e-mail	-	-	-	e-mail	e-mail
	6 Nombre de participants <i>Combien de personnes ont participé à l'étude ?</i>	2	3	1	1	1	2	1	1	1	1	1
	7 Non-participation <i>Combien de personnes ont refusé de participer ou ont abandonné ? Raisons ?</i>	Il n'y a eu aucune non-participation										
	8 Lieu de la ou des entrevue(s) <i>Où les données ont-elles été récoltées ? (LT = lieu de travail des participants)</i>	LT	LT	LT	LT	ÉTS	LT	-	-	-	LT	LT
	9 Date de la ou des entrevue(s) (2015)	13/04	01/07	16/04	02/06	14/04	22/04	-	-	-	02/04	16/09
	10 Présence de non-participants <i>Y'avait-il d'autres personnes présentes que les chercheurs et les participants pendant les entrevues ?</i>	non	non	non	non	oui	non	non	non	non	non	non
	11 Guide d'entrevues <i>Les intervieweurs ont-ils fourni des questions ou des sujets à aborder lors des entrevues ?</i>	Les entrevues étaient semi-dirigées selon quatre grands axes de discussion et quelques sous-points à aborder. La parole était beaucoup laissée aux participants afin de capter les idées qu'ils jugeaient importantes										
	12 Enregistrement audio <i>Les entrevues ont-elles été enregistrées pour la collecte des données ?</i>	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non
	13 Prise de notes <i>Des notes ont-elles été prises pendant les entrevues ?</i>	oui	non	oui	oui	oui	oui	-	-	-	oui	non
	14 Durée <i>Quelle était la durée des entrevues ? (min)</i>	45	45	45	45	45	90	35	35	35	45	45
	15 Saturation des données <i>La saturation des données a-t-elle été discutée ?</i>	La saturation des données n'a pas été discutée. En effet, l'étude s'intéresse à des technologies et des pratiques innovantes dans une zone géographique précise, ce qui restreint automatiquement le nombre de participants										
	16 Retour des données aux participants <i>Les données d'entrevues ont-elles été renvoyées aux participants pour commentaires et/ou corrections ?</i>	oui	oui	oui	oui	oui	oui	-	-	-	oui	oui

Figure 2.5 Contexte des entrevues semi-dirigées : conception de l'étude

		EDC 1		EDC 2		EDC 3	EDC 4	EDC 5			EDC 6	EDC 7
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
Analyse et résultats	17 Source des thèmes d'analyse <i>Les thèmes ont-ils été identifiés à l'avance ou ont-ils découlé des données ?</i>	Les thèmes d'analyse correspondent aux axes de discussions et aux profils des participants, ils ont donc été identifiés à l'avance										
	18 Logiciel utilisé <i>Quel logiciel a été utilisé pour coder/ analyser les données ?</i>	Le logiciel Nvivo 10 a été utilisé pour coder et analyser les données										
	19 Commentaires des participants <i>Les participants ont-ils donné leur avis sur les résultats ?</i>	non	non	non	oui	non	oui	-	-	-	oui	non
	20 Présentation de citations <i>Les thèmes/résultats ont-ils été présentés grâce à des citations de participants ? Chaque citation a-t-elle été identifiée à son participant ?</i>	Les résultats ont été exposés et appuyés grâce à des citations de participants pour lesquelles chaque participant ayant accepté d'être cité a été identifié										

Figure 2.6 Contexte des entretiens semi-dirigés : analyse et résultats

Les données des entretiens semi-dirigés ont été codées selon les quatre axes de discussion afin de faire ressortir le contenu de ces axes en fonction du profil des personnes interrogées, ou du type de discipline qu'elles représentent. L'encodage des données a été fait avec le logiciel NVivo et a permis de faire des croisements de données, à savoir :

- axes de discussion en fonction du profil (décideur, utilisateur ou vendeur) ;
- axes de discussion en fonction de la discipline (architecte, entrepreneur/fabricant ou vendeur d'application).

Les résultats de cette analyse ont ensuite conduit à la détermination des principaux avantages et défis liés à l'implémentation des technologies mobiles ainsi que les points stratégiques importants et déterminants de l'implémentation, et de développer le Guide des Technologies Mobiles.

2.3 Partie II : Cartographie des processus

Afin de compléter le guide d'implémentation mis en place à partir des études de cas, certains processus courants des projets de construction ayant le potentiel d'être fortement améliorés à l'aide des TM ont été cartographiés. La visualisation des processus de gestion de l'information avant et après implémentation des TM va permettre aux entreprises de voir plus clairement quels changements sont impliqués par la mise en place des TM, afin de mieux en mesurer les bénéfices, mais surtout afin de mieux s'y préparer.

Cette partie de la recherche s'appuie notamment sur les travaux de Bowden et al. (2004) qui ont conduit une étude sur la cartographie de plusieurs processus de construction dans le même objectif d'implantation d'une technologie mobile. Plusieurs processus « avant/après » ont été cartographiés dans un mode de représentation graphique simple afin que tous les intervenants puissent percevoir rapidement les mécanismes du processus y compris les personnes n'étant pas habituées à la cartographie des processus.

La méthodologie pour la cartographie des processus sera donc de s'appuyer à la fois sur les travaux déjà réalisés en cartographie des processus, mais aussi sur les études de cas auprès des professionnels afin de représenter clairement le processus courant de gestion de l'information pour trois acteurs clés des projets de construction :

- entrepreneur ;
- architecte/ingénieur ;
- client/promoteur immobilier.

Les étapes de cette partie de la recherche sont les suivantes :

Étape 1 :

Pour chacun des trois acteurs, mettre en évidence les objectifs visés dans la réalisation d'un projet de construction, puis choisir un processus dans la gestion de l'information ayant un fort potentiel d'amélioration de ces objectifs par les TM.

Étape 2 :

Cartographier de façon simple le processus choisi pour chacun des trois acteurs.

Étape 3 :

Identifier les zones des processus pouvant être informatisées et optimisées grâce aux TM

Étape 4 :

Cartographier les processus après mise en place des TM et mettre en évidence les étapes optimisées.

2.4 Partie III : Validation

Les études de cas et la cartographie des processus ont conduit au résultat du Guide des Technologies Mobiles, comprenant :

- étapes clés de l'implémentation ;
- tableau décisionnel (choix technologique) ;
- plan d'affaires ;
- processus avant/après.

Un projet pilote conduit auprès d'un entrepreneur général a permis de valider plusieurs éléments du guide, à savoir les premières étapes clés de l'implémentation, le tableau décisionnel pour le choix technologique de la solution et le processus avant/après implémentation.

Les étapes pour cette partie de la recherche sont les suivantes :

Étape 1 :

Sélection d'une entreprise exprimant le souhait d'améliorer sa gestion de l'information par l'implantation d'une TM.

Étape 2 :

Mise en place du guide d'implémentation et du tableau décisionnel pour faire le choix technologique le plus adapté à la situation.

Étape 3 :

Évaluer l'amélioration grâce à la cartographie des processus.

Les rencontres ont eu lieu dans les locaux de l'entreprise de façon bimensuelle sur huit mois.

La partie validation aura permis de confronter le Guide des Technologies Mobiles à la réalité d'un projet de construction. Le chapitre suivant présente l'analyse de l'ensemble des données récoltées pendant ce projet de recherche (études de cas).

CHAPITRE 3

ANALYSE DE LA SITUATION EXISTANTE

Les études de cas ainsi que la revue de littérature et la cartographie des processus ont permis d'obtenir une vue d'ensemble de la situation du Québec face à l'adoption des TM dans la gestion de l'information des projets de construction. La gestion du changement doit se faire en harmonisation sur le plan **procédural**, **technologique** et **organisationnel** (Forgues et al., 2014).

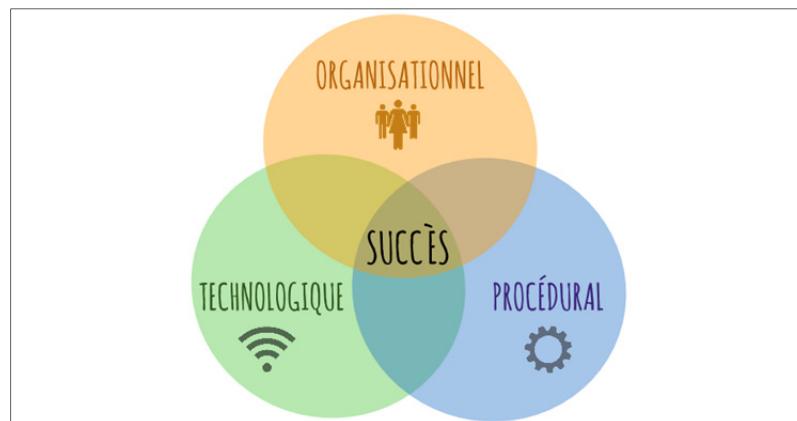


Figure 3.1 Gestion du changement basée sur les trois piliers : procédural, technologique et organisationnel

Ce chapitre décrit dans un premier temps la situation existante sur le plan **procédural** en détaillant trois processus courants de gestion de l'information selon un mode de réalisation traditionnel. La représentation graphique de ces processus permettra de les comparer par la suite à des processus améliorés avec les TM. La situation **technologique** est présentée dans une deuxième section à travers un tableau comparatif de plusieurs applications mobiles commercialisées au Québec en 2015. Pour terminer, la troisième section expose les choix **organisationnels** des entreprises québécoises les plus innovantes, faisant état des besoins exprimés, des stratégies employées et des retombées et défis rencontrés par ces entreprises à l'égard de la mise en place d'une TM dans leurs projets de construction. Ce chapitre présente donc les données de référence sur lesquelles s'appuie la proposition de changement exposée au CHAPITRE 4.

3.1 Processus traditionnels de gestion de l'information

Comme il a été vu précédemment, les méthodes traditionnelles encore utilisées dans l'industrie de la construction sont à la source de gaspillages dans le processus de gestion de l'information. Dans cette section, trois processus liés à la gestion de l'information ont été sélectionnés pour être cartographiés dans le but de documenter leur potentiel d'optimisation. Chacun des trois processus est lié à un acteur particulier du projet (entrepreneur général, architecte et client) et à ses objectifs. Les relations entre les acteurs du projet sont dépendantes du mode de réalisation de celui-ci. Le mode de réalisation le plus souvent utilisé dans le bâtiment est le mode conception-soumission-construction (design-bid-build). Ce mode est souvent qualifié de traditionnel puisqu'il scinde les relations entre intervenants tandis que de nouveaux modes plus récents comme la conception-construction (design-build), ou la gérance de construction (construction management) autorisent plus de collaboration entre les intervenants. La Figure 3.2 représente de façon simplifiée les relations existant entre les acteurs dans les modes de réalisation les plus courants.

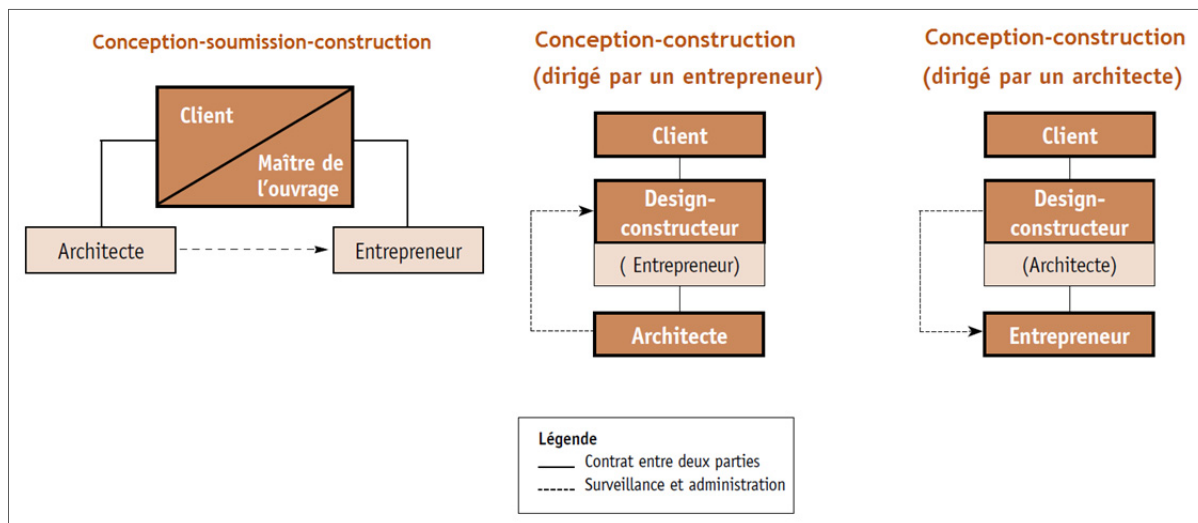


Figure 3.2 Relations entre acteurs dans les modes de réalisation courants
Tirée de (Brown et al., 2009)

Cette figure aide à comprendre les objectifs de chaque acteur. L'architecte a par exemple un rôle de surveillance vis-à-vis des travaux réalisés par l'entrepreneur, en d'autres termes son

mandat est d'assurer la conformité des travaux par rapport aux plans et devis. Pour chaque acteur, la sélection du processus à cartographier s'est faite sur la base de ses objectifs de projet. Le Tableau 3.1 ci-dessous présente le processus sélectionné pour chacun des trois acteurs clés.

Tableau 3.1 Description du processus choisi pour chaque acteur

	Entrepreneur général	Architecte ou ingénieur	Client
Objectif ciblé	Optimiser la construction pour respecter le budget et l'échéancier	Assurer la conformité des travaux aux plans de conception	Obtenir un bâtiment durable et facilement exploitable
Processus choisi	Partage des plans	Détection d'une non-conformité	Recherche d'information pour la maintenance

3.1.1 Entrepreneur général

L'entrepreneur général gère l'ensemble de phase de construction du projet et il est le centre des échanges entre l'équipe de conception, le client et la main d'œuvre sur le chantier, que celle-ci soit rattachée directement à lui ou qu'elle soit celle d'un sous-traitant. Lorsque le client décide de modifier un élément, ou lorsque des conflits sont détectés entre les disciplines (architectes, ingénieurs structure, ingénieurs mécaniques, etc.) de nouveaux plans sont réémis et l'entrepreneur général doit s'assurer que les travaux soient désormais conduits en suivant ces nouveaux plans. La gestion des plans dans un projet de construction est un pilier à la réussite des travaux en termes de délais et de budget. Une mauvaise gestion des plans pourra entraîner des retards si la main-d'œuvre est en attente des nouvelles consignes, voire même des reconstructions si la main-d'œuvre n'a pas été avisée des changements. Or l'objectif principal de l'entrepreneur général dans un projet de construction est de faire des

bénéfices en optimisant la conduite des travaux, en respectant les délais et en évitant le gaspillage. Par conséquent, la gestion des plans est souvent le premier processus que les entreprises décident d'automatiser grâce aux TM.

La Figure 3.3 représente le processus de partage et de stockage des nouveaux plans entre les intervenants dans un mode traditionnel. Chaque nouveau plan généré par un intervenant de conception (architecte, bureau d'étude structure, bureau d'étude plomberie, bureau d'étude électricité, bureau d'étude mécanique...) est transmis au bureau de l'entrepreneur général où l'adjoint technique se charge de la transmission du plan au chantier et de l'archivage de celui-ci dans le serveur de l'entreprise ainsi que dans les dossiers papier. Le surintendant du chantier reçoit alors une version électronique par courriel ainsi qu'une version papier qui nécessite un déplacement. Il enregistre la nouvelle version du plan et la transmet par courriel aux sous-traitants concernés et il conserve une version papier qu'il archive sur le chantier et une autre qu'il utilise pour communiquer les changements sur le terrain. Le sous-traitant imprime lui-aussi au moins une version papier pour son archivage et éventuellement une version pour donner à sa main-d'œuvre.

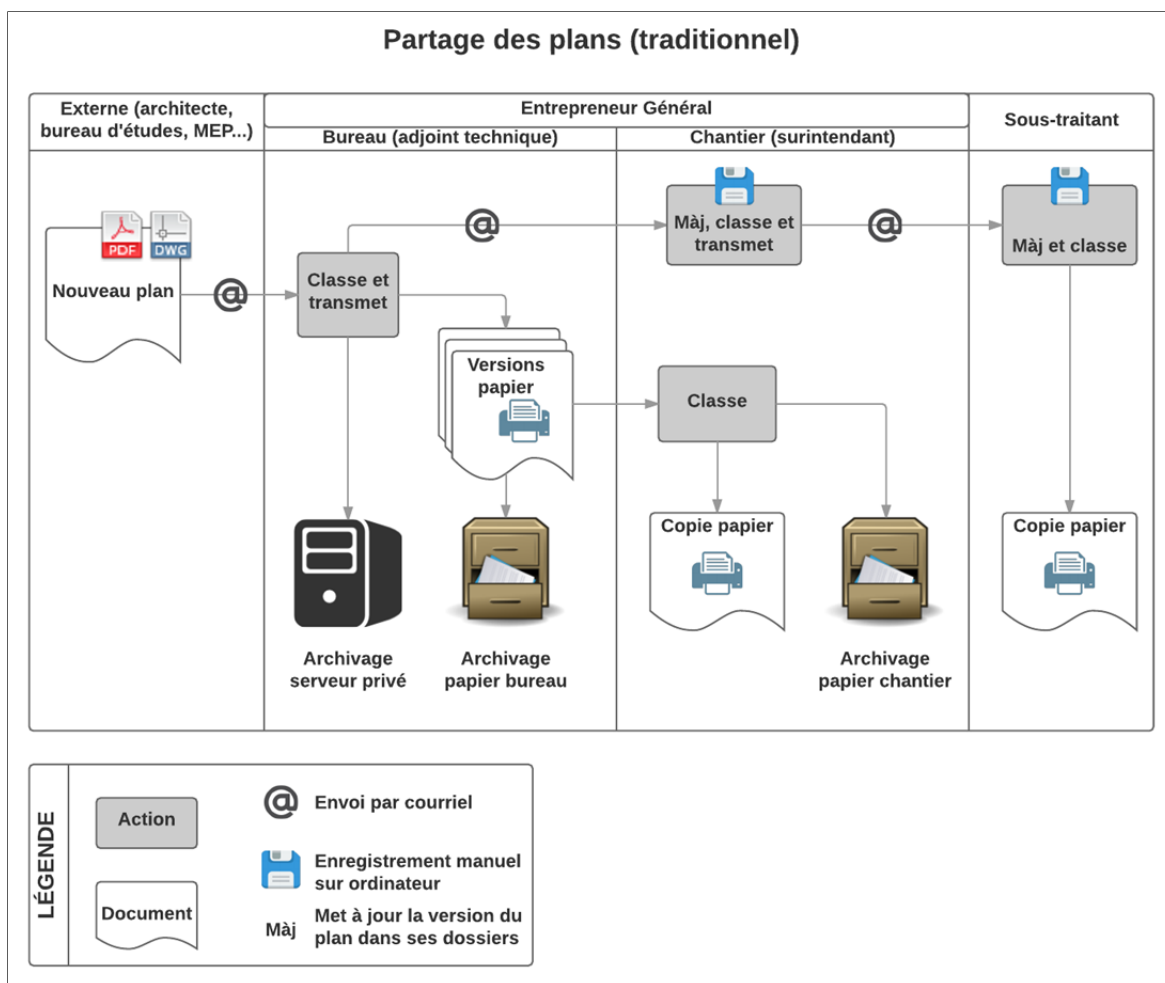


Figure 3.3 Processus de partage des plans (méthode traditionnelle)

Sur cette figure, on peut identifier plusieurs éléments pouvant être automatisés comme la transmission des plans par courriel, ou l'enregistrement du nouveau plan. En outre, on remarque qu'un seul plan génère au moins trois impressions papier pour l'archivage et l'acheminement de l'information sur le terrain. La mise en place d'une TM pourrait permettre non seulement de rendre instantanées les mises à jour, mais aussi de donner au personnel sur le chantier la possibilité d'y accéder directement sur tablette (ou sur téléphone intelligent suivant le niveau de détail nécessaire) au lieu d'être dépendant de l'acheminement du plan papier depuis les bureaux jusque sur le terrain.

3.1.2 Architecte

L'architecte a entre autres pour objectif pendant la phase de réalisation du projet de s'assurer que l'entrepreneur général exécute les travaux conformément aux plans et devis. Pour cela, l'architecte effectue régulièrement (la plupart du temps de façon hebdomadaire) une visite de chantier afin de s'assurer du bon avancement des travaux et de la conformité des travaux effectués aux plans de conception.

La Figure 3.4 représente le processus de communication mis en place lorsqu'un élément a été noté comme non conforme par l'architecte pendant une visite de chantier, selon la méthode traditionnelle. L'architecte qui détecte une non-conformité sur le chantier va prendre des notes de façon manuelle et éventuellement des photos, puis de retour au bureau il rédige un rapport et l'envoie par courriel à l'entrepreneur général. Ce dernier, selon s'il est responsable de l'erreur ou si c'est son sous-traitant qui a mal effectué les travaux, lui demande un devis pour refaire les travaux ou lui demande de réparer l'erreur à ses frais. S'il y a un devis, une fois un accord trouvé sur le prix, le sous-traitant corrige l'erreur. Une fois l'erreur corrigée, l'architecte peut constater de la conformité des travaux lors de sa prochaine visite.

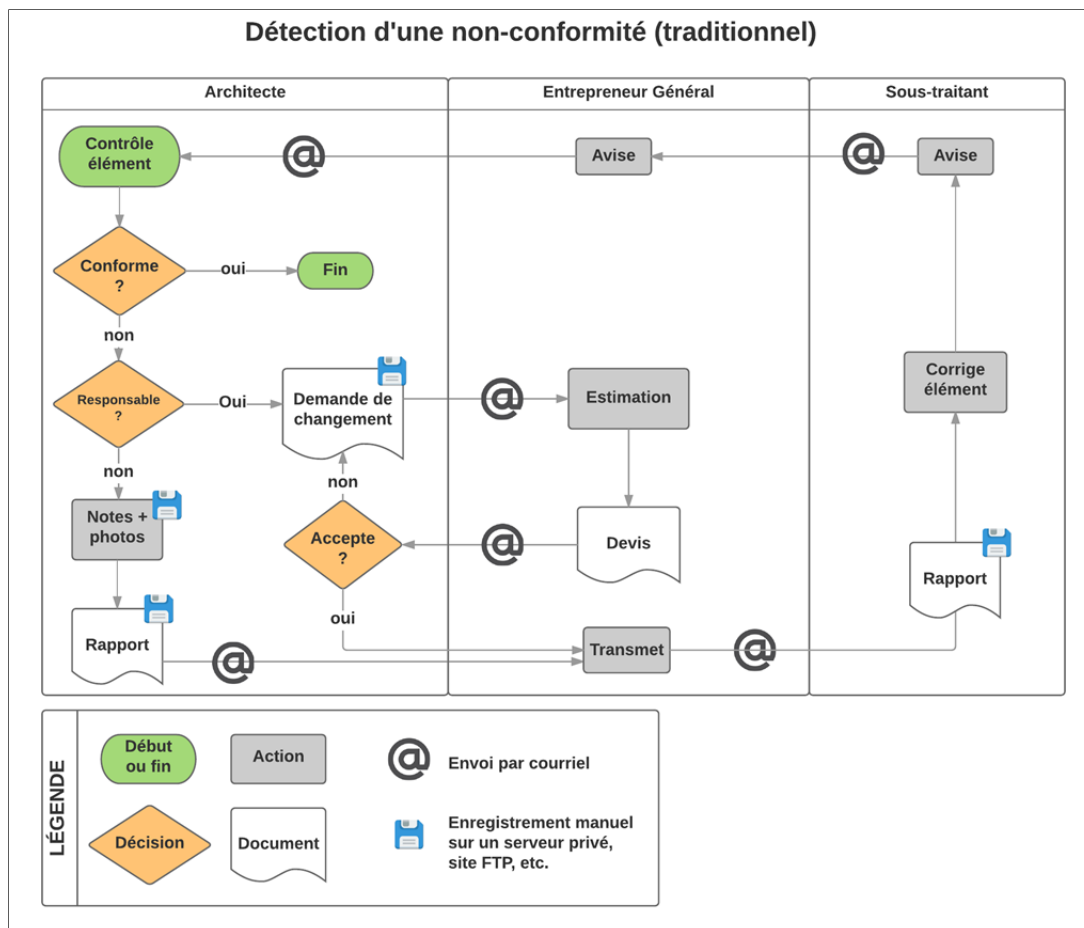


Figure 3.4 Processus de correction d'une non-conformité lors d'une visite de chantier hebdomadaire (méthode traditionnelle)

Dans ce processus on remarque beaucoup d'allers-retours de courriels entre l'architecte, l'entrepreneur et le sous-traitant, qui pourraient être supprimés pour gagner du temps. Aussi la rédaction de rapports de visite est un travail fastidieux pour l'architecte qui a peu de valeur ajoutée par rapport au temps qui y est consacré. Les TM pourraient améliorer ces éléments, et en particulier plusieurs applications mobiles sont disponibles sur le marché et permettent de gérer les visites de chantier de façon optimale. Certaines offrent par exemple la possibilité de prendre des notes directement dans l'application, entraînant ensuite la génération automatique d'un rapport, et l'envoi automatique à l'entrepreneur.

3.1.3 Client

Le client a pour objectif la livraison de son projet dans le respect de l'échéancier afin de démarrer l'exploitation de l'ouvrage, mais avant tout il est à son avantage que la construction soit durable et facilement exploitable. À partir de la livraison des travaux, les garanties démarrent et le client doit s'occuper de la maintenance de l'ouvrage. Les données sur le « tel que construit » sont alors indispensables et l'accès à ces données sera un facteur déterminant pour la facilité d'entretien et la durabilité. Dans un mode de réalisation traditionnel n'utilisant ni le BIM ni les TM pour gérer l'information de projet, les données dont le client a besoin après réception sont généralement situées à différents emplacements et constituent une quantité d'information dans laquelle il est compliqué de s'y retrouver.

La Figure 3.5 représente le processus de recherche d'information pendant la phase d'exploitation d'un bâtiment dans un mode traditionnel. Lorsqu'un problème survient ou lorsqu'on veut effectuer un changement et que l'on a besoin d'information sur le bâtiment existant, il faut alors rechercher dans les plans de récolement, les dessins d'ateliers, les résultats des tests et expertises qui ont été conduits (qui ne sont parfois archivés qu'au format papier), toutes les fiches techniques des éléments de mobilier, de plomberie d'électricité, les manuels d'entretiens fournis par l'entrepreneur, etc. De plus, il n'existe généralement pas de système d'enrichissement de la base de données. Par conséquent, lorsque l'information cherchée n'est pas disponible et qu'elle doit être recherchée ailleurs, la nouvelle information trouvée est perdue, ou bien elle est conservée de façon individuelle mais n'est pas mise en commun.

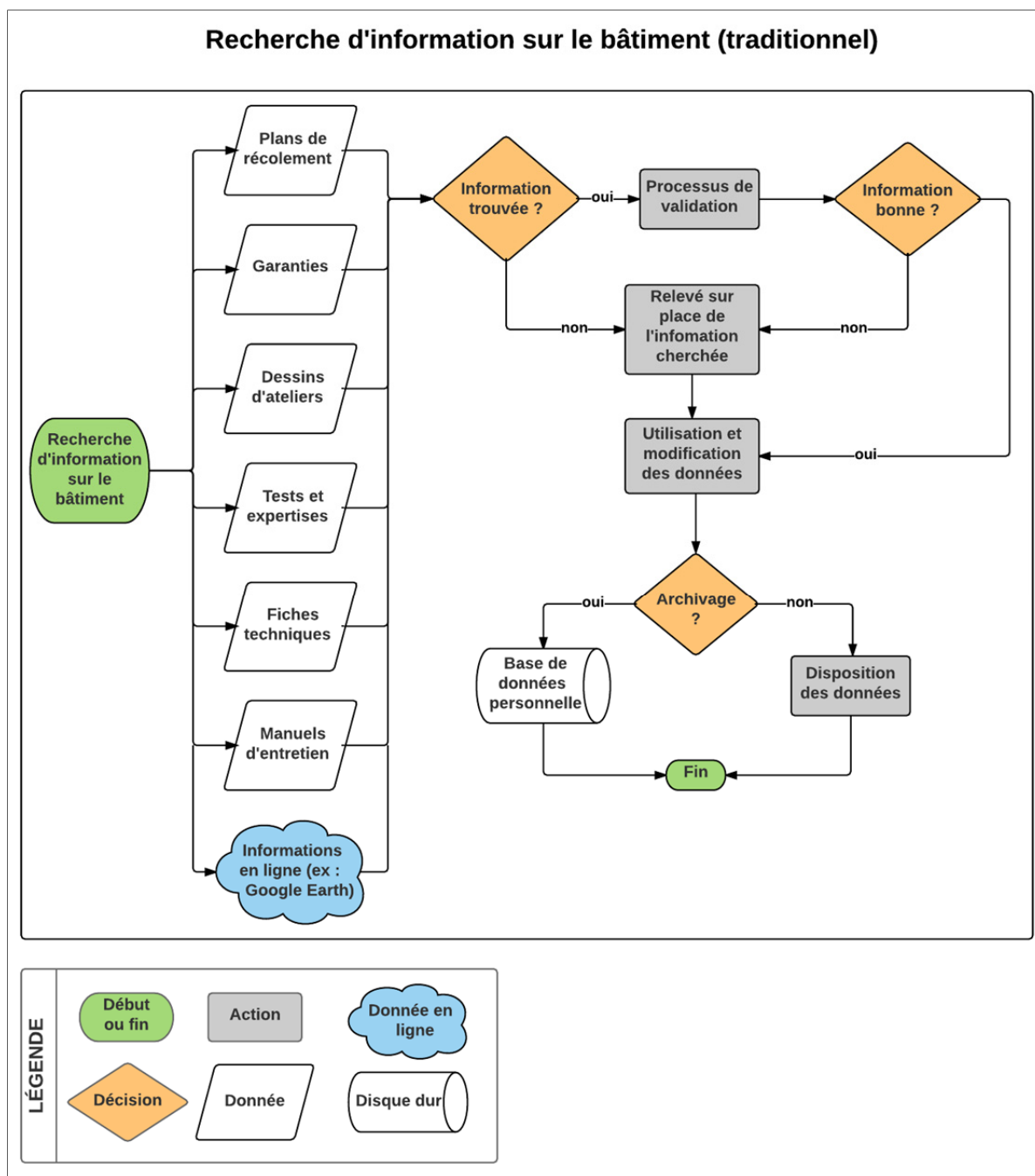


Figure 3.5 Processus de recherche d'information sur le bâtiment (traditionnel)
Adaptée de Dao et Forgues (2013)

La Figure 3.5 met en avant la complexité de la recherche d'information pour l'exploitation du bâtiment. D'une part les données sur l'ouvrage sont éparpillées dans plusieurs endroits différents, mais aussi, comme il n'existe traditionnellement pas de système d'enrichissement

des données, ou en d'autres termes que l'information n'est jamais mise à jour, cette dernière doit systématiquement être vérifiée avant d'être utilisée car on n'est pas assuré de son exactitude. Cela rajoute un processus de validation à chaque fois qu'une information est trouvée dans les bases de données. Les TM utilisées seules ou en complément du BIM pourraient permettre une mise en commun de cette information sur une base de données unique et une mise à jour systématique, et ainsi faciliter la recherche d'information. Le processus traditionnel présenté ici a donc un fort potentiel d'amélioration qui pourrait faciliter et améliorer la qualité de l'exploitation de l'ouvrage pour le client.

3.2 Applications mobiles disponibles sur le marché

L'intérêt des professionnels de la construction pour les applications mobiles est grandissant (Ferrada et al., 2014; Ningshuang Zeng, Li et Xu, 2014) et par conséquent le marché des applications dédiées à l'industrie AECO l'est également. Il est alors difficile pour les entreprises de s'y retrouver dans le flot d'applications commercialisées sans élément de comparaison. Comme il a été vu dans le CHAPITRE 1, plusieurs travaux de recherche ont proposé une classification des applications mobiles pour la construction. Ce mémoire s'appuie sur les recherches de Frenette dans lesquelles une échelle de maturité a été développée en quatre niveaux. Les niveaux dans l'ordre croissant correspondent à une utilisation de la moins poussée à la plus poussée des TM dans les projets de construction. Le niveau 4, le plus élevé, correspond à une gestion de projet tandis que les niveaux inférieurs correspondent à une simple communication ou du partage d'information. Ce mémoire s'intéresse uniquement à l'utilisation des outils de niveau 4 sur l'échelle de maturité puisque celui-ci se base sur un contexte de collaboration et de travail intégré, ce qui est l'objectif visé ici. Les études de cas ont donc été conduites auprès d'entreprises ayant adopté une TM de niveau 4, et les observations ont fait ressortir une tendance parmi ces applications qui a suggéré une subdivision du niveau 4 en deux sous-niveaux. La Figure 3.6 explique la répartition des quatre niveaux de maturité et des deux sous-niveaux qui ont émergé des études de cas. En effet, les applications les plus utilisées par les entreprises innovantes québécoises semblaient se ranger dans deux catégories qui ont été séparées comme suit :

Niveau 4.1 :

Application de gestion intuitive, pour petit ou moyen budget, dont l'interface offre une flexibilité réduite mais dont l'apprentissage et la mise en place peuvent être très rapides et ne nécessitent pas d'embaucher un gestionnaire.

Niveau 4.2 :

Application de gestion très complète, dont l'interface peut se programmer pour être personnalisée selon l'utilisateur, et qui offre plus de fonctionnalités que le niveau 4.1, mais

qui nécessite par conséquent plus d'apprentissage et un gestionnaire pour administrer l'implémentation et le suivi.

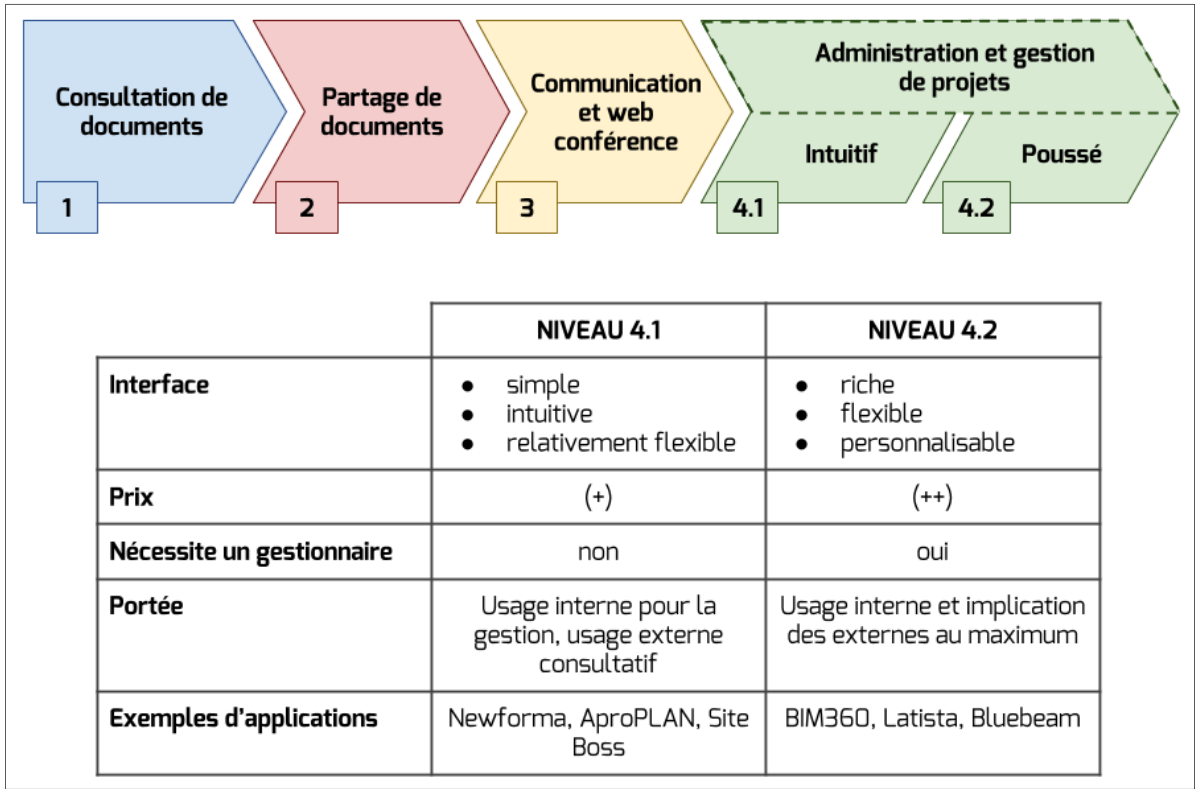


Figure 3.6 Échelle de maturité des applications mobiles et description des deux nouvelles subdivisions

Plus le niveau de maturité de l'application est élevé, plus la collaboration est obligatoire dans le projet de construction. Les entreprises qui veulent aller vers des projets intégrés, avec un partage des objectifs finaux, une grande communication et moins de rapports d'opposition entre les intervenants ont tendance à se tourner vers des applications de niveau 4.2 sur l'échelle de maturité.

La Figure 3.7 présente un comparatif de 14 applications mobiles de gestion de projet de construction. Le choix des applications s'est fait d'une part parmi celles choisies par les entreprises innovantes des études de cas, et d'autre part parmi les applications similaires les plus populaires au Canada dans les magasins d'applications d'Apple et Android.

Application	Compatibilité	Niveau de gestion	Niveau de maturité	Principales fonctionnalités	3D	Cible	Langue	Prix*	Licence**	Notes (et nb de votes)	
										App Store	Google Play
 BIM 360 Field		Projet	4.2	Listes de déficiences, contrôle qualité et sécurité, mises en service, émissions de plans, surveillance main d'œuvre, météo	●	Entrepreneurs généraux et sous-traitants	Anglais	gratuit	Sur demande	★★ 1255	
 Latista		Projet	4.2	Gestion de la qualité, sécurité, mises en service, punchlist, inspections	●	Entrepreneurs généraux et sous-traitants	Anglais	gratuit	Sur demande	★★★★ 52	
 Bluebeam Revu		Projet	4.2	Lecture, annotation de PDF, création de rapports, collaboration en temps réel et différé, mesures et comparaison	●	Entrepreneurs généraux et sous-traitants	Anglais	11.99\$	Entre 14.95 et 367\$ par utilisateur pour la version standard avec maintenance	★★★ 126	
 SmartUse		Projet	4.1	Lecture et annotation de PDF, salle de plans virtuelle, collaboration		Entrepreneurs généraux et sous-traitants, donneurs d'ouvrage	Anglais, Français	gratuit	Sur demande	★★★★ 3	
 Inktronic		Projet	4.1	Distribution de dessins, consultation et annotation des dessins en ligne, collaboration sur des projets		Entrepreneurs, donneurs d'ouvrage, architectes, consultants, gestionnaires immobiliers	Anglais, Français		Sur demande (mensuel par utilisateur + achat d'appareils + options supplémentaires)		
 AproPLAN		Projet	4.1	Transport de plans et documents sur la table d'inscription de rapports automatiques		Architectes, ingénieurs, donneurs d'ouvrage	Anglais, Français	gratuit	Pro : 23\$ ou 30\$/mois Expert : 40\$ ou 55\$/mois Entreprise : sur mesure		
 SiteWorks		Projet	4.1	Lecture et annotation de PDF, punchlist, mesures de chantier, collaboration entre équipes		Entrepreneurs généraux et sous-traitants	Anglais, Français	45.99\$		★★★★ 13	
 Delux Field		Projet	4.1	Supervision, punchlist, émissions sur plan 2D ou modèle Revit, listes de contrôle, sécurité	●	Entrepreneurs Architectes, ingénieurs, donneurs d'ouvrage	Anglais, Français	gratuit	Sur demande	★★★★ 6	★★★★ 32
 BuildoZ AIR		Projet	4.1	Lecture et annotation de plans, stockage de tous les documents de chantier, listes des réserves GCP, création de rapports		Entrepreneurs Architectes, ingénieurs, donneurs d'ouvrage	Anglais, Français	gratuit	Opérationnel : 25.68\$/mois Collaboration : 65.24\$/mois Entreprise : sur mesure		★★★★ 22
 ArchiPad		Projet	4.1	Suivi de chantier, punchlist, gestion des OPR, levées de réserves, rapports		Architectes	Anglais, Français	799.99\$		★★★★ 28	
 Site Boss		Chantier	4.1	Journal quotidien, ordre de changement, minutes de réunion, RFI, bons de commande, accès illimités		Artisans, sous-traitants	Anglais, Français	199.99\$ ou 119.02\$			★★★★ 3
 Opti chantier		Chantier	4.1	Gestion du temps de travail, achat de matériel, paiements clients		Artisans, sous-traitants	Anglais, Français	gratuit	3.99\$/mois		★★★★ 6
 Matterport		Projet	4.1	Réalité 3D de salle de réunion, espaces, modèle 3D généré en ligne	●	Firmes d'ingénierie	Anglais	gratuit	(Caméra : 562\$) Basic : 62\$/mois Professionnel : 125\$/mois Business : 185\$/mois +19\$/modèle		
 Sketcha		Projet	4.1	Studio Digital, Collaboration virtuelle, conférence en ligne, graphique, partage de documents	●	Architectes	Anglais, Français		Sur demande (abonnement mensuel + prix fixe pour le Studio Digital : plusieurs milliers)		

* Prix d'achat en CAD dans le store (App Store ou Google Play Store dans cet ordre) en date du 25/05/2015
 ** Prix en CAD en date du 25/05/2015. Consulter le site web du produit pour plus de détails

Figure 3.7 Comparatif de 14 applications utilisées au Canada pour la gestion de projets de construction (2015)

3.3 Études de cas : utilisation des TM chez les entreprises innovantes.

Cette section présente l'ensemble des résultats directement issus des études de cas (avant analyse et exploitation). Les professionnels rencontrés font partie des plus innovants du Québec en termes de TM, il est donc pertinent de dégager les raisons qui les ont poussés à investir dans les TM, ainsi que les problèmes auxquels ils se sont heurtés, les retombées qu'ils ont constatées et surtout les éléments de leur stratégie de mise en place, qui seront la base de l'élaboration du guide d'implémentation. Les résultats sont présentés dans trois paragraphes principaux qui identifient les besoins, puis les stratégies les plus employées et enfin les retombées et défis.

3.3.1 Prérequis

Comme expliqué dans le CHAPITRE 2, les participants aux entrevues semi-dirigées ont été dispersés dans trois types de profil : décideur, utilisateur et vendeur. Ils ont également été associés à une discipline suivant l'entreprise pour laquelle ils travaillaient : architecte, ingénieur, entrepreneur/fabricant ou vendeur d'application. Sachant que les données récoltées auprès de ces différents profils et différentes entreprises n'ont pas exactement la même signification, cette section présente la quantité de données relative issue de chaque profil, en fonction des axes de discussion lors des entrevues (besoins, stratégie, défis, retombées), puis la quantité de données relative discutée pour chaque type d'entreprise. Ces deux graphiques donnent au lecteur une meilleure connaissance du contexte de la récolte des données afin qu'il puisse mieux aborder les résultats présentés dans la section suivante

3.3.1.1 Axes de discussion en fonction du profil

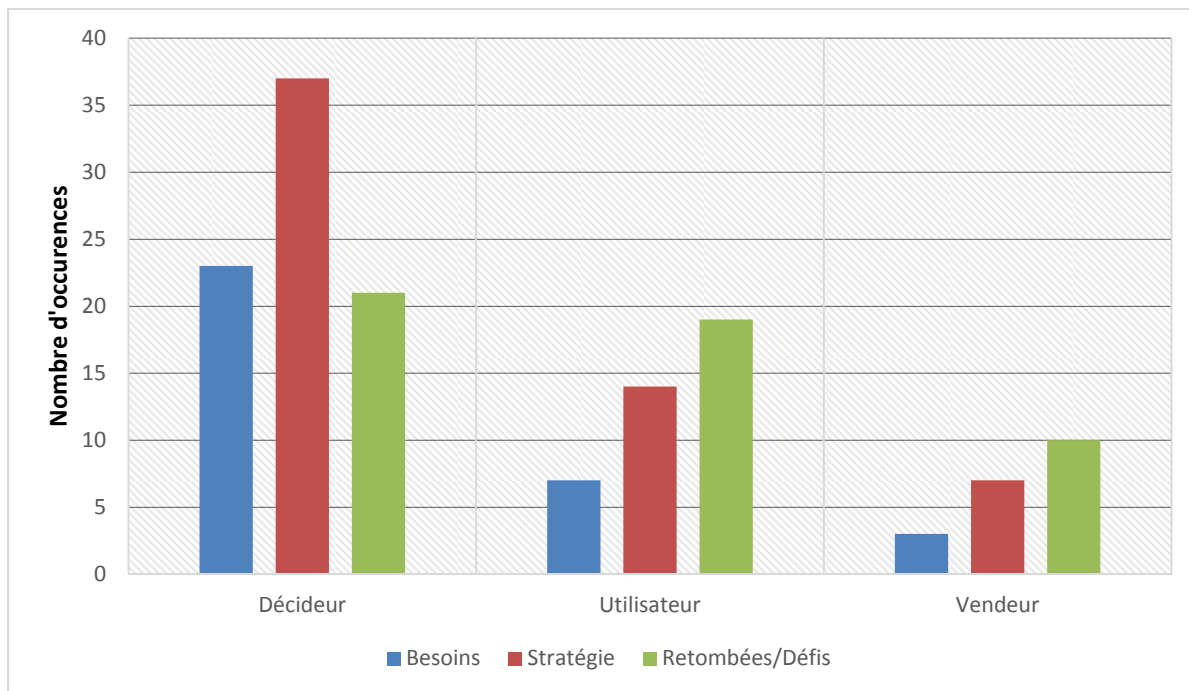


Figure 3.8 Répartition des axes de discussion parmi les profils de participants

La stratégie d'implémentation a logiquement été discutée principalement avec le décideur, qui fait partie de la direction, du département BIM ou du département des innovations. Les besoins ont également été discutés plus avec le décideur, tandis que les retombées et les défis ont été discutés de façon assez équitable entre les trois profils (il est à noter que la quantité de personnes interrogées est la même entre décideur et utilisateur, mais elle est un peu inférieure pour le profil vendeur, d'où la quantité d'information un peu inférieure).

3.3.1.2 Axes de discussion en fonction de la discipline

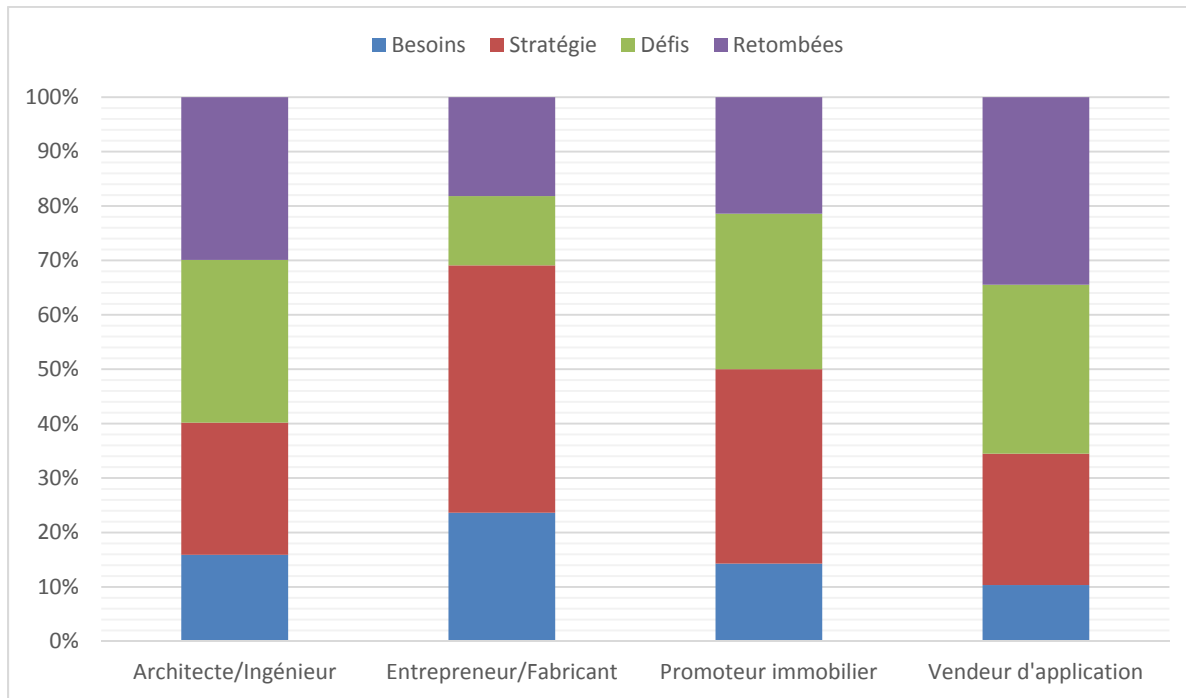


Figure 3.9 Répartition des axes de discussion pour chaque discipline interrogée

Le nombre de personnes interrogées n'étant pas homogène parmi les disciplines contrairement aux profils dans la section précédente, la quantité d'information est présentée en proportion pour chaque discipline, ce qui est beaucoup plus représentatif. On remarque notamment ici que les entrepreneurs sont beaucoup préoccupés par la stratégie tandis que les architectes/ingénieurs en comparaison ont beaucoup plus discuté les retombées et défis de l'adoption des TM. Le vendeur d'application parle aussi logiquement plus des retombées positives pour la firme que du reste.

3.3.2 Besoins exprimés par les entreprises québécoises

Le nuage de mots ci-dessous représente les 25 mots les plus fréquemment évoqués par les personnes interrogées sur les besoins à l'origine de la mise en place d'une TM.



Figure 3.10 Les 25 mots les plus utilisés par les professionnels pour parler de leurs besoins

Les professionnels mettent en effet en place les TM dans le but premier d'améliorer la **gestion** de leur(s) **chantier(s)** et de leurs **projets**. Les **plans** sont un élément très récurrent et sont généralement la première chose que les entreprises veulent informatiser. Les professionnels sont à la recherche d'outils capables de classifier leurs plans, de les relier entre eux, de les annoter et de les partager sans avoir à les imprimer systématiquement. L'un des besoins les plus soulignés est aussi une **technologie facilement utilisable / facilement acceptée**. Les applications intuitives sont les plus recherchées car elles offrent une courbe d'apprentissage rapide et moins de résistance de la part des utilisateurs. Le gain de **temps** est également une requête courante des professionnels qui sont contraints par des échéanciers serrés à respecter. Finalement, il y a une forte demande d'outils capables de gérer les **déficiences**, car le processus traditionnel de gestion des déficiences implique un travail assez fastidieux et à faible valeur ajoutée.

3.3.3 Stratégies employées pour la mise en place des TM

La Figure 3.11 ci-dessous représente les différentes stratégies adoptées par les entreprises interrogées pour mettre en place les TM. Une case pleine signifie que l'entreprise a appliqué la stratégie. Le processus stratégique a été découpé en trois phases chronologiques, à savoir le choix de l'outil technologique, puis la préparation à l'implémentation et enfin la phase d'implémentation. On peut aussi distinguer sur cette figure le type d'entreprise et le niveau de maturité de l'application mise en place.

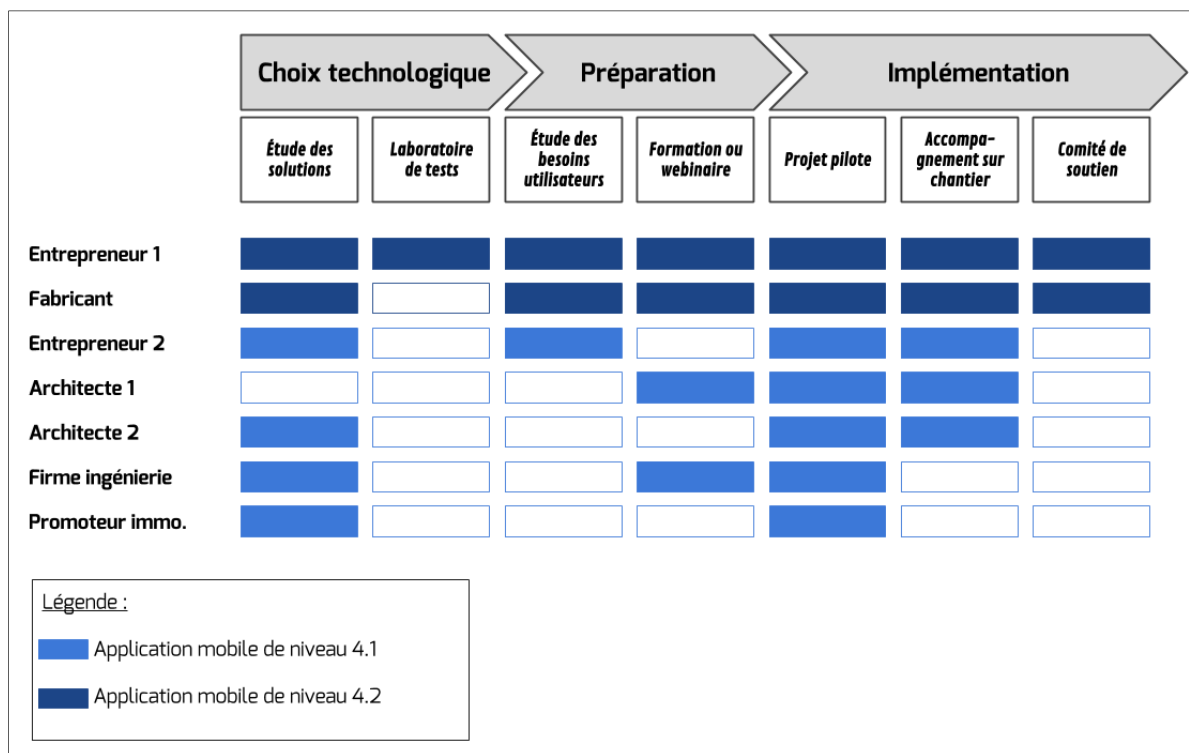


Figure 3.11 Les différentes stratégies mises en place par les entreprises interrogées pour l'adoption des TM

On remarque sur cette figure que toutes les entreprises ont opté pour un projet pilote pour l'implémentation de leur TM tandis qu'une petite proportion d'entre elles seulement a analysé les besoins des utilisateurs avant la mise en place. Toutes les entreprises ont prévu un accompagnement soit pendant la préparation soit pendant l'implémentation, mais elles n'avaient pas toutes prévu les deux. Finalement, les deux entreprises ayant mis en place une

application de niveau de maturité 4.2 (le plus élevé) sont logiquement celles qui ont le plus mis l'accent sur la stratégie d'implémentation car ce type d'application demande plus de travail de mise en place que les applications de niveau 4.1.

3.3.4 Défis et retombées de l'adoption des TM

Concernant les défis et les retombées dont ont témoigné les professionnels interrogés, les données récoltées sont assez homogènes. Peu de défis observés étaient particuliers à une entreprise, sauf certains problèmes techniques ou liés directement au fonctionnement de l'application. Par exemple, culturellement, les défis rencontrés étaient communs à la quasi-totalité des entreprises. De la même façon, les retombées observées par les entreprises après l'adoption des TM tendaient à aller vers des mêmes conclusions. La Figure 3.12 présente les défis les plus évoqués par les personnes interrogées et la Figure 3.13 présente les retombées les plus évoquées.

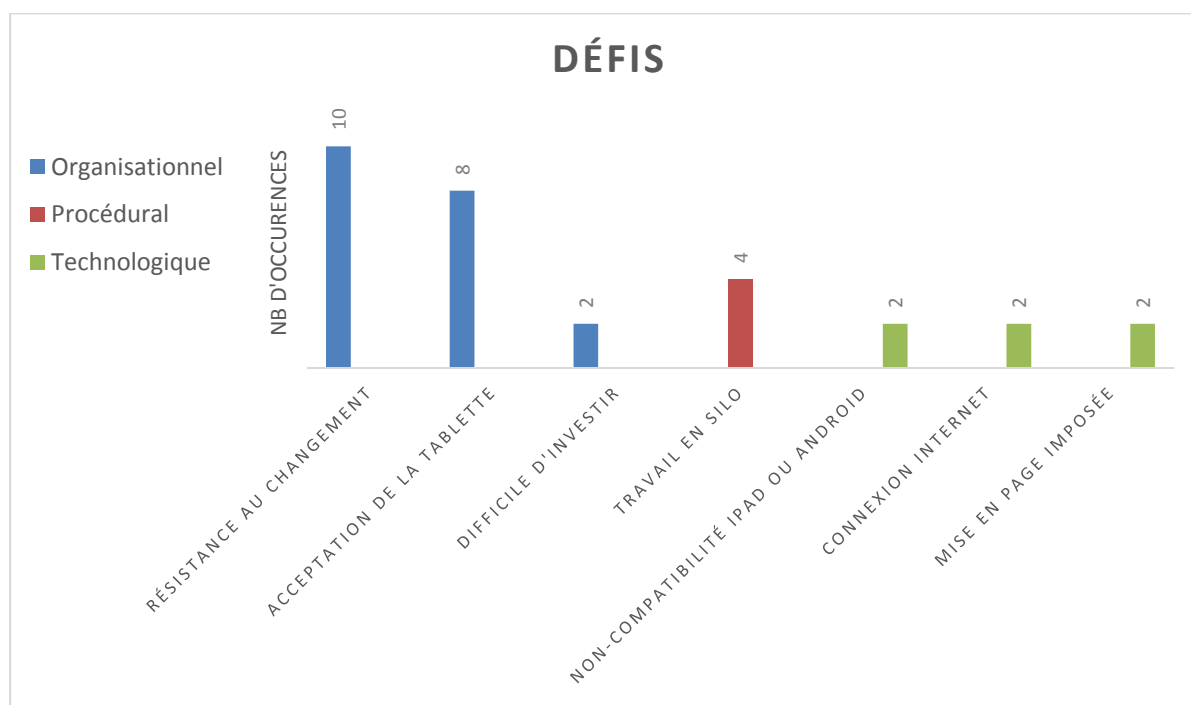


Figure 3.12 Les sept défis rencontrés lors de l'adoption des TM les plus cités par les professionnels interrogés

Presque toutes les entreprises ont été témoins à plus ou moins grande échelle d'une résistance au changement de la part des utilisateurs. En effet, il a été soulevé que les personnes sont généralement attachées à leurs habitudes de travail et aux méthodes employées, et qu'il est par conséquent difficile de les convaincre de l'utilité d'un changement. La tablette sur le chantier n'est pas toujours bien acceptée ou elle nécessite un petit apprentissage. Enfin l'un des défis les plus cités est également le travail en silo dans les projets de construction. Plus précisément, les personnes interrogées ont constaté que le manque de collaboration entre les intervenants du projet constituait souvent un frein à l'adoption des TM car chacun a ses propres intérêts à défendre et bien souvent ses propres normes de classement, ses propres outils de travail, et il est difficile de synchroniser tout le monde sur l'utilisation d'une même application.

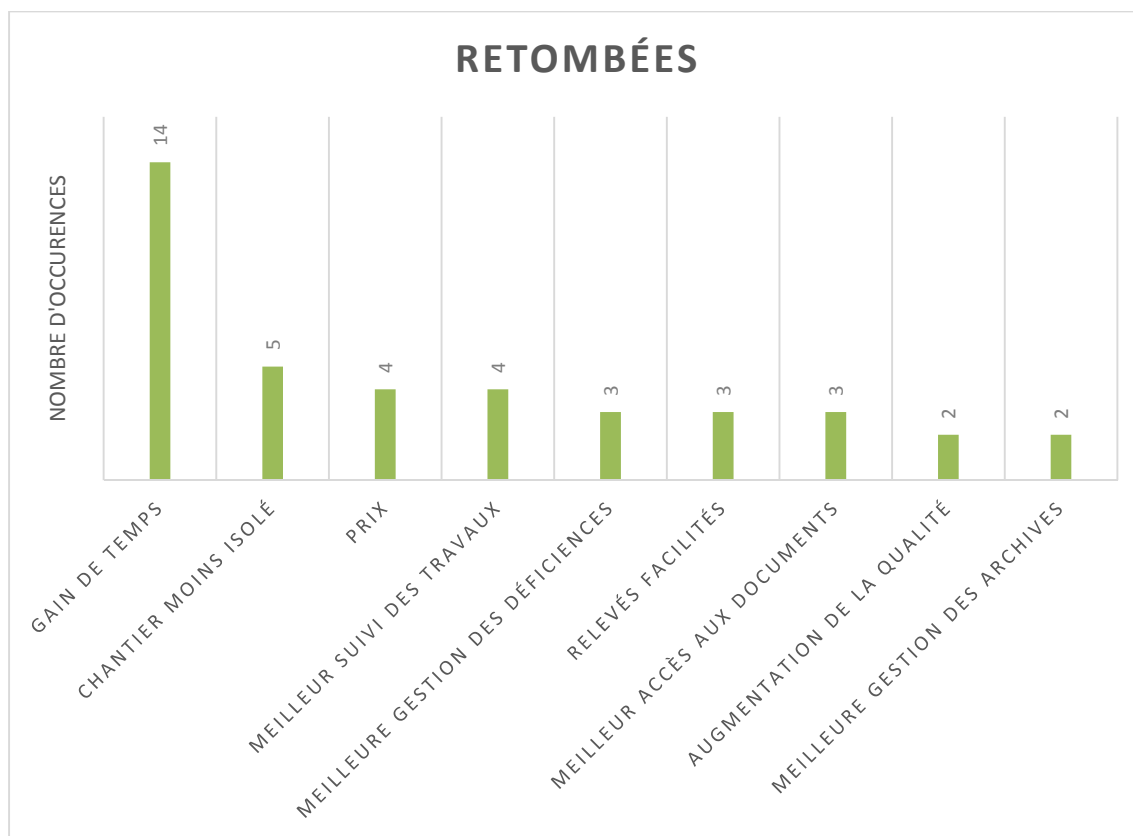


Figure 3.13 Les retombées de l'adoption des TM les plus citées par les professionnels interrogés

Le gain de temps dans la gestion des projets est une retombée directe que tous les professionnels ont observée. Sans exception, toutes les entreprises ont pu constater un gain de temps de différentes façons : en temps de rédaction de rapports réduit, en temps de présence sur le chantier augmenté, en temps de déplacements réduits, etc. La plupart a aussi constaté que l'adoption d'une TM rendait le chantier plus connecté au reste du projet et au reste des intervenants. Enfin, certains avaient déjà pu constater des résultats au niveau financier et un meilleur suivi des travaux de façon générale.

3.4 Conclusion

La situation existante révèle un paradoxe entre les processus traditionnels qui laissent percevoir des zones à optimiser, les entreprises qui expriment des besoins d'amélioration, et les solutions mobiles à disposition sur le marché. En effet, malgré une grande quantité d'outils mobiles adaptés à chaque profil d'entreprise de la construction, les processus traditionnels sont encore appliqués, les entreprises expriment des besoins d'amélioration de leur productivité, et le virage vers les TM ne se fait pas encore, ou les entreprises se heurtent à des défis récurrents. On constate que la stratégie d'implémentation varie d'une entreprise à l'autre, bien que certaines pratiques soient largement appliquées comme la conduite d'un projet pilote. D'autres stratégies sont moins largement appliquées mais font suite à des implémentations réussies chez les entreprises innovantes. Dans le chapitre suivant, les processus traditionnels sont optimisés grâce aux TM, et une trousse d'outils est proposée aux entreprises. Cette trousse d'outils cherche à répondre à leurs besoins et à leur permettre d'éviter les défis auxquels elles font habituellement face, en proposant une stratégie d'implémentation destinée à maximiser le retour sur investissement de l'adoption.

CHAPITRE 4

PROPOSITION DE CHANGEMENT

Après avoir pris connaissance de la situation existante vis-à-vis de l'adoption des TM par l'industrie AECO québécoise, une proposition de changement a été mise en place. En effet, l'absence d'éléments de comparaison, de guides, de lignes directrices et de standards pour l'implémentation des TM peut empêcher les entreprises d'en exploiter le plein potentiel. Si le travail de recherche, de comparaison et d'expérimentation doit systématiquement être repris de zéro lors d'une implémentation et que les connaissances et les expériences ne sont pas mises en commun, alors l'industrie n'avance pas aussi vite qu'elle le pourrait. Il est important de mettre les connaissances en commun pour que l'innovation induise une réelle évolution. Ce chapitre propose différents outils destinés aux professionnels de la construction, afin de les guider dans le choix et l'implémentation d'une TM en suivant la ligne directrice de l'harmonisation entre procédure, organisation et technologie. La première section se concentre sur l'aspect procédural avec l'optimisation des trois processus traditionnels présentés dans le chapitre précédent grâce à l'introduction des TM. La deuxième section présente une trousse d'outils composée d'un guide d'implémentation, d'un tableau décisionnel et d'un gabarit de plan d'affaires.

4.1 Processus transformés

La section 3.1 de ce mémoire présente la cartographie de trois processus traditionnels de gestion de l'information liés respectivement à l'entrepreneur, à l'architecte et au client. Cette section présente les trois processus optimisés grâce à la mise en place d'une TM. Pour chacun des trois acteurs, l'optimisation du processus permettra d'atteindre plus facilement l'objectif fixé dans la section 3.1 (respect des échéanciers et du budget pour l'entrepreneur, conformité des travaux aux plans de conception pour l'architecte, et réception d'un bâtiment durable et facilement exploitable pour le client)

4.1.1 Entrepreneur général

Il a été vu précédemment que le processus traditionnel de partage des plans dans un projet de construction impliquait une grande quantité d'échanges de courriels mais aussi d'impressions. Cette transmission répétée de l'information entraîne un risque d'égarement ou de confusion de l'information par chacun des intervenants et rend l'acheminement de cette dernière relativement long entre l'externe et le chantier. La Figure 4.1 ci-après représente le processus de partage des plans géré par une application mobile infonuagique. Ce type d'application est commercialisé et permet de donner accès à tous les intervenants à une plateforme virtuelle commune qui contient tous les plans du projet.

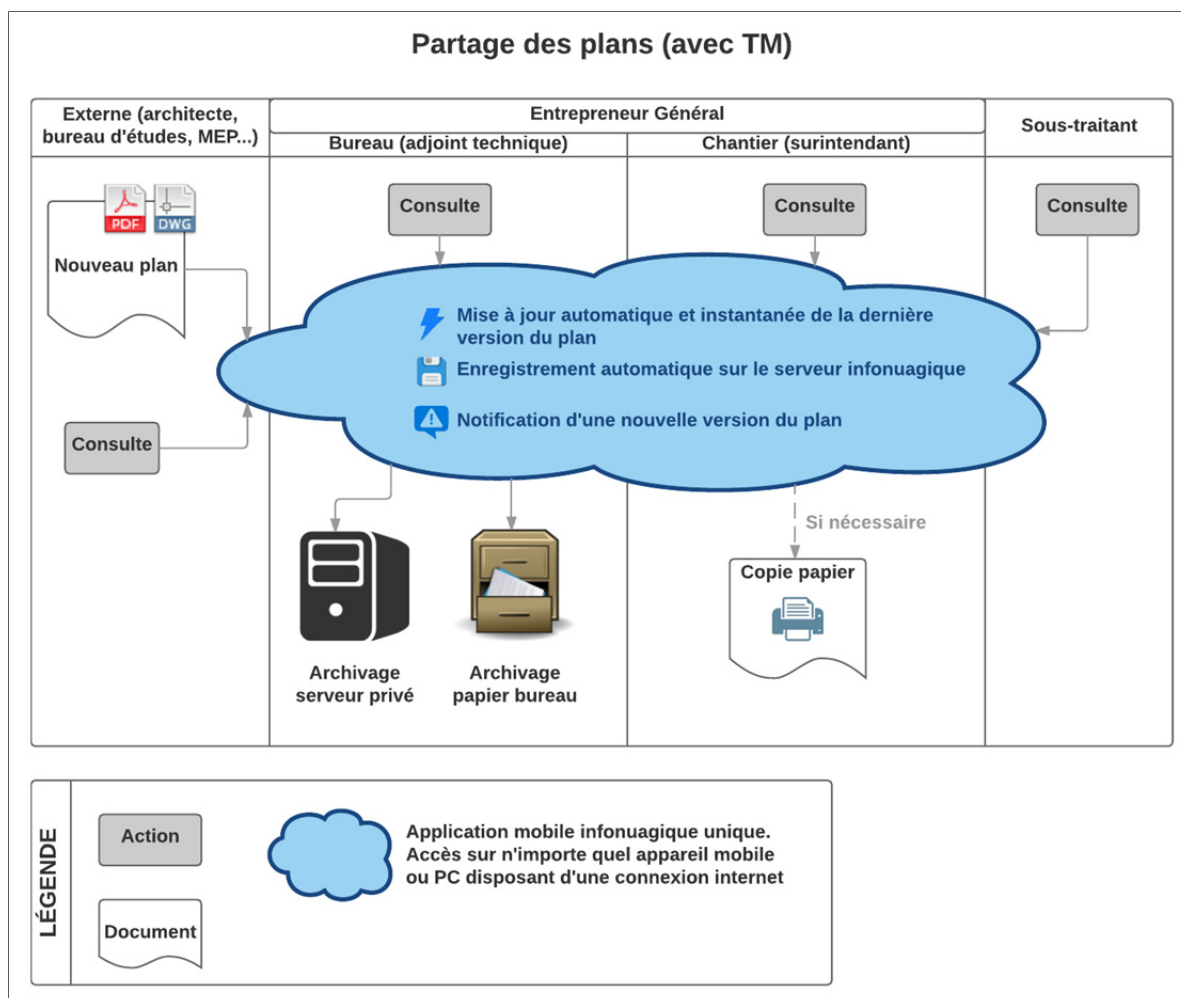


Figure 4.1 Processus de partage des plans entre les intervenants de projet (après implémentation d'une TM)

L'application infonuagique utilisée ici (des dizaines de produits similaires sont disponibles sur le marché) permet la mise à jour automatique du plan dans une base de données commune à tous les intervenants. En effet, l'intervenant de conception va aller chercher l'emplacement de la version précédente et téléverser la nouvelle version au même emplacement. La plupart des applications permettent de superposer et de comparer les versions de plans. Dans un second temps, l'entrepreneur général et le sous-traitant sont notifiés instantanément de la présence d'une nouvelle version du plan et ont accès depuis leur appareil mobile ou leur ordinateur au document au format pdf ou dwg. L'adjoint technique n'a alors plus qu'une seule tâche à effectuer qui sera éventuellement de sauvegarder une

copie du plan sur le serveur de l'entreprise pour plus de sécurité, sachant qu'une copie est déjà sauvegardée sur le serveur infonuagique sécurisé. Le surintendant de chantier n'a plus besoin de transmettre le plan au sous-traitant puisque celui-ci est notifié automatiquement par l'application. Enfin, le chef de chantier, sur le terrain avec sa tablette ou son téléphone intelligent, a lui aussi été notifié de la nouvelle version du plan par l'application et peut communiquer à ses ouvriers les travaux à effectuer.

Comparativement au processus traditionnel, le gros point d'amélioration est non seulement la délivrance instantanée de l'information, mais aussi la réduction de l'utilisation du courriel et de nombreuses impressions papier comme supports de transmission de l'information. Pour que ce processus automatisé fonctionne correctement, il est nécessaire de configurer l'application dès le démarrage du projet, par exemple en reliant chaque sous-traitant aux plans qui le concernent, afin qu'il ne soit notifié que par les changements qui affectent son travail. Il y a donc un travail préliminaire en amont qui est un « investissement » de temps vite rentabilisable. On voit également dans ce processus que la mise en commun de l'information va contribuer à faciliter la livraison du projet en réduisant le travail de regroupement des plans.

4.1.2 Architecte

Plusieurs applications mobiles existent dans le commerce pouvant faciliter le rôle de surveillance de l'architecte dans la phase de construction d'un projet. Le processus traditionnel implique pour l'architecte chargé de projet une grande quantité de travail fastidieux comme la rédaction et la mise en page de rapports de visite à partir de notes et de photos. Ce travail est long et n'exploite pas les compétences et expertises de l'architecte dans le domaine de la construction. L'introduction d'une TM dans le processus de détection et de production de rapport de non-conformités sur le chantier peut permettre de supprimer la partie fastidieuse du travail afin d'exploiter pleinement les capacités spécifiques de l'architecte et de lui permettre de valoriser son travail.

En introduisant une application mobile infonuagique sur laquelle l'architecte peut prendre ses notes et ses photos directement depuis son appareil mobile, il est possible d'automatiser une grande partie du processus de gestion des non-conformités. La Figure 4.2 décrit le processus après introduction d'une TM.

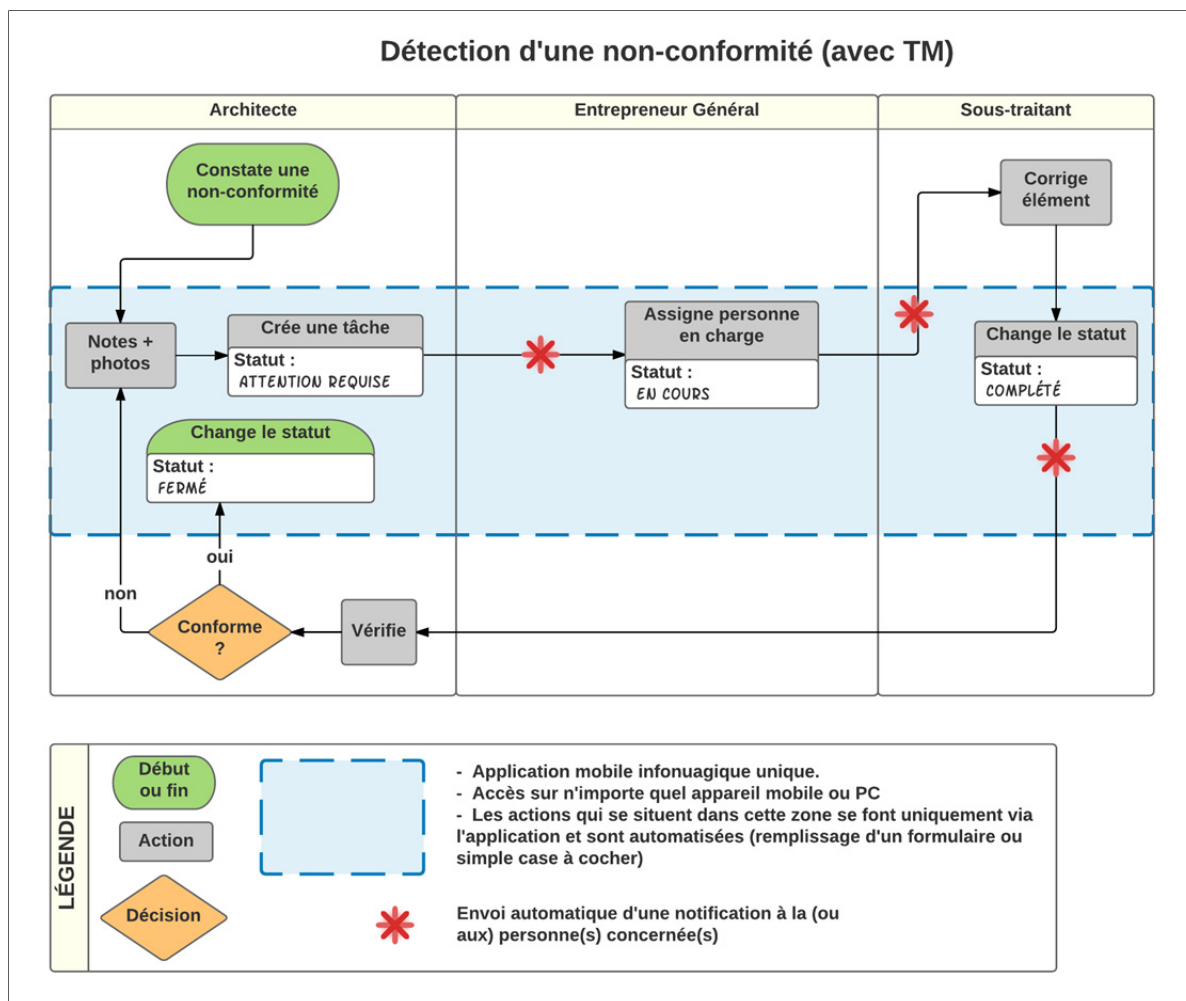


Figure 4.2 Processus de détection et correction d'une non-conformité détectée par l'architecte lors d'une visite de chantier hebdomadaire (après implémentation d'une TM)

Chaque non-conformité peut être répertoriée sur l'application mobile sous forme interactive : l'architecte crée une nouvelle tâche, y associe notes, photos, localisation, date d'échéance, etc. L'entrepreneur est alors notifié de la présence d'une nouvelle tâche requérant son attention. Il inspecte l'élément sur place et assigne alors la tâche au sous-traitant concerné

pour que celui-ci la corrige, tout en changeant le statut de la tâche de « attention requise » à « en cours ». Le sous-traitant est ensuite notifié et peut corriger l'élément puis changer le statut de la tâche de « en cours » à « complété », ce qui notifie automatiquement l'architecte qui peut vérifier la conformité de l'élément corrigé et fermer la tâche. Lorsque l'architecte fait sa visite hebdomadaire, il crée ou ferme de nouvelles tâches, et un rapport automatique peut être généré et envoyé à l'entrepreneur indiquant toutes les tâches en cours, leur statut et leur date d'échéance.

L'avantage est évident pour l'architecte qui se débarrasse de la rédaction et la mise en page des rapports de visite. Cette optimisation peut représenter plusieurs heures de gagnées par semaine pour un chargé de projet. Par exemple, les chargés de projets interrogés lors des études de cas ont témoigné un gain de temps à la fois au niveau du transport des plans sur le chantier qu'au niveau de la rédaction des rapports de visite et de réunion. Le suivi des non-conformités et de leur correction est aussi largement plus clair puisqu'il est accessible par tous en temps réel. Aussi, ce suivi centralisé a un avantage légal puisqu'il permet de garder une trace de toutes les corrections demandées et effectuées durant les travaux.

4.1.3 Client

Comme il a été vu dans la section 3.1.3, le client devenu propriétaire de l'ouvrage passe traditionnellement par un long processus de recherche et de validation lorsqu'il s'agit de retrouver de l'information nécessaire à la maintenance de son ouvrage. Pour être efficace, l'introduction des TM doit ici être faite en amont du processus présenté et non pas uniquement dans ce processus. En effet, la centralisation des données pour le client n'est possible que si elle est faite tout au long de la phase de construction. La centralisation des données est facilitée si l'ouvrage est construit en BIM mais elle est tout de même possible si des TM ont été introduites pour gérer les documents de projet. La Figure 4.3 illustre deux cas possibles de centralisation des données à la fin du chantier.



Figure 4.3 Centralisation des données du bâtiment avec BIM (en haut) et sans BIM (en bas)

Que le projet ait été réalisé en BIM ou pas, il est possible de faciliter la phase d'exploitation pour le client en commençant à centraliser les données dès le début de la réalisation :

- soit l'ouvrage a été réalisé en mode BIM : dans ce cas, toutes les données du bâtiment se trouvent dans le modèle 3D (modèles architecturaux, structurels et mécaniques du « tel que construit » permettant de visualiser l'inaccessible, fiches techniques, propriétés, manuels d'utilisation et d'entretien associés à chaque élément, etc.) ;
- soit l'ouvrage n'a pas été réalisé en mode BIM mais les plans, dessins d'ateliers, fiches techniques et autres documents de projet ont été partagés dès le début des travaux via une application mobile infonuagique (comme dans la section 4.1.1) : dans ce cas, les plans de récolement sont directement prêts et centralisés à la fin du chantier, ainsi que les documents techniques, résultats de tests, etc. Les manuels d'entretien et les documents de garantie peuvent alors être rajoutés sur le même serveur mais le travail de regroupement des documents pour la livraison des travaux est quasiment fait.

Dans les deux cas les données sont facilement accessibles. Dans le cas d'un modèle BIM cependant, la recherche est plus intuitive car une donnée se trouve toujours à l'emplacement correspondant dans le modèle 3D.

La Figure 4.4 présente le processus optimisé de recherche documentaire dans le cas où une centralisation des données a été mise en place en amont de la livraison des travaux (avec ou sans BIM). Dans le nouveau processus, les données sont plus rapidement accessibles, plus fiables car elles ont été mises à jour à un unique emplacement tout au long du projet et en accord parmi toutes les disciplines, et étant centralisées, les mises à jour peuvent continuer tout au long du cycle de vie du bâtiment, à chaque intervention de maintenance. Par conséquent, une information trouvée dans la base de données est fiable et n'a pas besoin d'être validée. La validation est donc une étape qui a été supprimée par rapport au processus traditionnel.

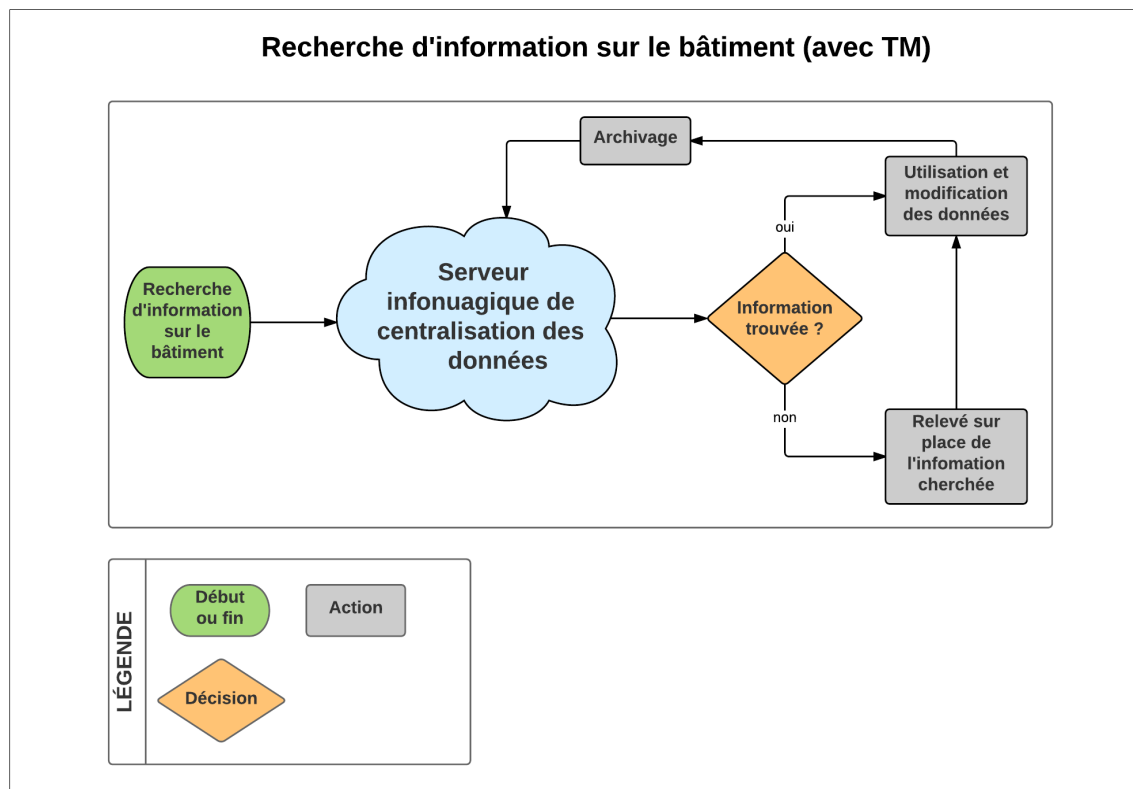


Figure 4.4 Processus de recherche d'information sur le bâtiment
(après implémentation d'une TM)

Le nouveau processus permet au client de gagner en temps mais aussi en qualité. On remarque qu'il y a un cycle contrairement au processus traditionnel qui est linéaire, ici l'information est continuellement mise à jour.

4.1.4 Discussion

Les trois processus qui ont été optimisés ici ne représentent pas l'ensemble de la gestion de l'information dans un projet de construction. Néanmoins, ce sont des processus fondamentaux pour chacun des acteurs puisqu'ils leur permettent de répondre à leurs objectifs principaux. De plus, les processus traditionnels qui ont été choisis l'ont aussi été pour leur « universalité » à travers les projets de construction de plus ou moins grande envergure, et de natures différentes. Par conséquent, ce sont les processus que les professionnels choisissent le plus souvent d'automatiser à l'aide des TM, le choix s'est donc

logiquement porté sur eux afin qu'ils soient utiles au plus grand nombre. Finalement, bien qu'ils aient été présentés ici de façon individuelle et distincte, il ne faut pas oublier que ces trois processus font partie d'une seule et même entité qui est la réalisation d'un projet de construction, et qu'ils sont liés entre eux. En effet, tant le partage des documents pour l'entrepreneur, que le suivi des non-conformités pour l'architecte contribuent à la centralisation des données qui sera utile pour la maintenance du bâtiment et donc pour le client. Aussi, bien que chacun des trois processus aient été associé à un acteur central, il est évident que les processus de l'entrepreneur et de l'architecte sont également bénéfiques aux autres intervenants impliqués. Les processus avant/après peuvent être comparés visuellement en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

4.2 Trousse d'outils

La trousse d'outils développée à partir des études de cas fait partie du projet *Construction 2.0 : Guide des Technologies Mobiles* ⁴ réalisé grâce au programme Mitacs, et en partenariat avec le Centre d'Études et de Recherche pour l'Avancement de la Construction au Québec (CERACQ). Il constitue le deuxième volet du projet « Construction 2.0 » :

- premier volet : Forgues, Tahrani et Frenette, « Construction 2.0 : L'efficacité par le numérique » (CEFRIQ 2014) ;
- deuxième volet : Forgues, Tahrani et Pouteau, « Construction 2.0 : Guide des Technologies Mobiles » (CERACQ 2015).

La trousse d'outils comporte trois éléments dont un guide d'implémentation décrivant les six étapes clés à ne pas négliger pour tirer le meilleur parti des TM, un tableau décisionnel pour guider le choix technologique parmi le flot d'applications disponibles et un gabarit de plan d'affaires suggérant les dépenses et recettes à prendre en compte pour le calcul de la rentabilité de l'outil.

4.2.1 Guide d'implémentation

Comme il a été vu dans le CHAPITRE 1, la stratégie d'implémentation est l'élément clé de la réussite d'une adoption réussie des TM. Le guide d'implémentation propose de décomposer cette stratégie en six étapes clés dont le contenu est détaillé dans cette section. Le guide se base essentiellement sur les leçons apprises des implémentations menées par les professionnels rencontrés, à savoir les pratiques stratégiques mises en place avec succès, mais aussi les défis les plus couramment rapportés. Le guide se base également sur les résultats des travaux de recherche antérieurs sur le thème de l'adoption des TM ou des technologies de l'information et du BIM. L'application de toutes les étapes du guide

⁴ Le guide des technologies mobiles est téléchargeable en ligne : <http://ceracq.ca/technologies-mobiles/>

demande plus ou moins de temps selon l'ampleur de l'implémentation, la puissance de l'application, le nombre de fonctionnalités, le nombre de procédés qu'elle va automatiser, le nombre et la variété d'utilisateurs qu'elle va impliquer, etc. Cependant, ce temps est un investissement à ne pas négliger puisqu'il va contribuer à l'harmonisation sur le plan procédural, organisationnel et technologique nécessaire à une bonne gestion du changement. Les six étapes du guide d'implémentation forment un cycle d'amélioration continue comme le montre la Figure 4.5 ci-dessous. La Figure 4.7 en fin de section résume également chacune des six étapes de façon plus détaillée.

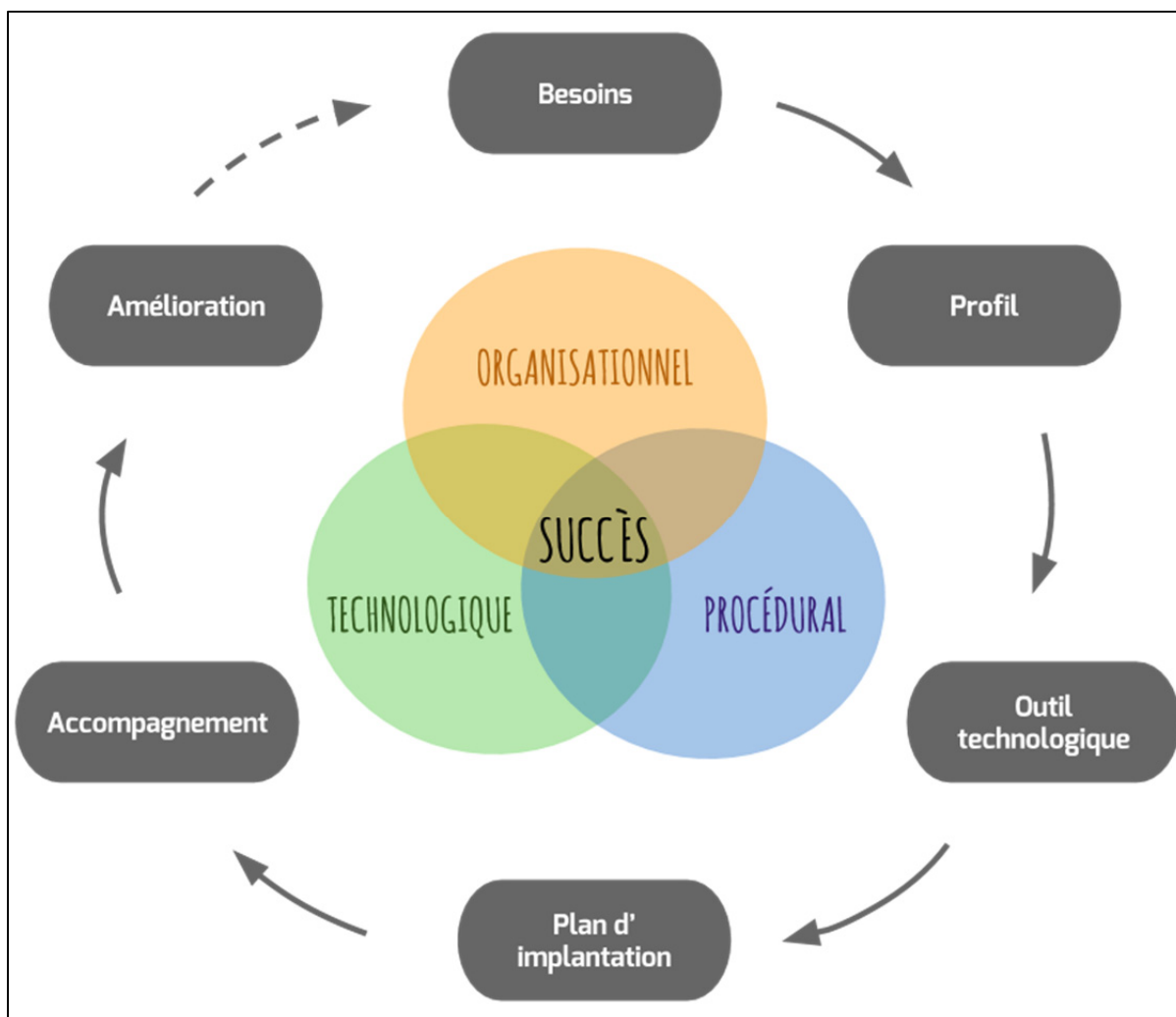


Figure 4.5 Les 6 étapes clés du guide d'implémentation

1. Définition des besoins et des attentes

Une entreprise décide d'investir dans une technologie mobile lorsqu'elle ressent le besoin d'automatiser certaines tâches ou qu'elle a remarqué que certains processus pouvaient et devaient être améliorés (Kang et al., 2013). Il est important de bien définir ces processus ainsi que les **besoins** spécifiques de l'entreprise quant aux tâches visées, afin de décider d'objectifs réalistes. La définition d'objectifs clairs servira notamment à pouvoir mesurer le succès de l'implémentation après la mise en place, par la réalisation, l'échec ou le dépassement des objectifs fixés. Par exemple l'entreprise peut définir ses besoins comme étant l'automatisation de la gestion des déficiences, et par la cartographie du processus déterminer que l'objectif à atteindre est un gain de temps de 8 heures par semaine par chargé de projet. L'avis du personnel sur le terrain est important sur ce sujet car ce sont les personnes les mieux placées pour estimer le potentiel gain de temps grâce à l'outil. D'autre part, une définition claire des besoins va permettre d'affiner la recherche d'outils mobiles adaptés.

Les **attentes** face à la technologie doivent également être mises au clair. Il peut s'agir d'attentes relatives au fournisseur de la technologie (attitude, service client, durabilité de l'entreprise). Un service client très présent, à l'écoute et réactif pourra certainement faire la différence et contribuer à la bonne implémentation. La sécurité de l'information dépendra aussi du sérieux du fournisseur et de son mode de stockage, souvent infonuagique mais pas toujours chez le même hébergeur. Les attentes peuvent aussi concerner le type d'application (sur appareils iOS ou Android, le type de tarification, etc.).

« En décembre 2013, le choix de solution qui permettait de gérer les mises en service, les plans, les travaux à compléter, les déficiences, et les listes de vérifications était limité. Il y avait BIM Field 360, Latista, PlanGrid... Un des critères important dans le choix, était d'investir dans une solution fiable et fonctionnelle, qui allait évoluer et dont le développeur était solide et connu. Pour nous Autodesk répondait à ce critère. De plus il y avait possibilité de bâtir une relation d'affaire à long terme. »

2. Profil et capacités

Une application mobile vise généralement une clientèle par discipline (architecte, entrepreneur général, sous-traitant, ingénieur, promoteur immobilier, fabricant...) même si certaines tendent à être généralistes, et chacune correspond à une fourchette de budget. En prenant en compte la discipline, la recherche d'outils est donc déjà affinée.

En outre, le budget disponible pour l'investissement doit être défini à l'avance car il peut vite être dépassé si on ne prend pas tous les critères en compte. En effet, derrière le prix d'achat de l'application et de sa licence peuvent se cacher des dépenses à la fois nécessaires et significativement lourdes sur le coût total de l'investissement. Certaines applications nécessiteront notamment des heures de formation, et suivant l'ampleur du changement, une campagne de promotion de l'outil à l'interne, voire une personne à temps plein pour l'administration et la gestion, et des programmeurs pour paramétrer les différentes fonctionnalités. Il faut aussi ajouter à cela l'achat éventuel de tablettes et de téléphones intelligents compatibles avec l'application.

Enfin, il est pertinent d'évaluer la capacité des futurs utilisateurs à utiliser l'outil ainsi que leur motivation, et à intégrer ce critère dans le choix. Il a été montré que l'aspect culturel est un élément très important à prendre en compte lors de l'implantation d'une nouvelle technologie dans la phase de mise en place (Gajendran et Brewer, 2012). Des jeunes peuvent, par exemple, être plus enclins à utiliser la technologie, la courbe d'apprentissage sera donc moins étalée et on pourra se permettre de choisir une application qui implique un plus gros changement des habitudes de travail.

En résumé, il existe assez de produits sur le marché pour satisfaire tous les profils et les tailles de budget, d'où l'importance de faire une bonne analyse avant de prendre une décision, afin de profiter de cet avantage.

« La structure de prix de BIM 360 Field est vraiment dispendieuse. Il faut payer tant par personne par année. La plupart des gérants de projet vont l'utiliser 6-7 mois par année, une à deux journées par semaine. C'est rare qu'ils aient des projets en chantier toute l'année. Pour ce qu'on fait, ça ne se justifie pas. Pour un entrepreneur qui l'utiliserait tous les jours, ça pourrait valoir la peine. [...] AproPLAN est une application peu couteuse donc ça pourrait plus facilement se rentabiliser. »

Coordonnatrice partage des connaissances, Cabinet d'architecte (2015/04/13)

3. Choix technologique

Une fois les besoins, les attentes, le profil et les capacités mis à plat, il est temps de faire un choix face à la quantité d'applications disponibles sur le marché. Bien que les critères préparés permettent de réduire les possibilités, certaines applications concurrentes resteront à départager. Les témoignages de ses semblables s'ils existent peuvent alors s'avérer d'une précieuse aide. La popularité des applications dans les différents magasins d'applications (Google Play, App Store...) reflète également la satisfaction des clients via des notes et des commentaires.

Pour un investissement de grande ampleur, une étude de marché plus poussée avec un calcul de rentabilité semble nécessaire. Cela peut s'appuyer sur des projets pilotes sur des durées raisonnables ou des tests en laboratoire, qui permettront de tester à la fois l'application et ses fonctionnalités, mais aussi de se rendre compte de la réactivité du service client, ou de l'efficacité des mises à jour du produit et des dépenses réelles liées à la mise en place.

« Chez nous, avant d'acheter un équipement il faut justifier. Il faut avoir des exemples, montrer pourquoi on en a besoin. Si on n'avait pas présenté le besoin ils n'auraient pas acheté l'appareil, il faut mettre en évidence qu'on a perdu de l'argent quelque part ou qu'on perd une certaine compétitivité en n'ayant pas les bons outils. »

Coordonnatrice aux innovations et technologies 3D, Firme d'ingénierie (2015/04/14)

Exemple de cas pratique :

Une firme d'architecture d'une cinquantaine d'employés veut mettre en place une technologie mobile qui permettrait d'automatiser le processus d'inspection des façades. Depuis la mise en place de la loi 122, cette procédure est très rigoureuse, et en devient fastidieuse. En effet, l'architecte doit inspecter chaque pierre de la façade de l'édifice, ce qui constitue un travail répétitif et long, donc facilement automatisable. La Figure 4.6 décrit la démarche suivie pour les trois premières étapes du guide d'implémentation pour cet exemple.

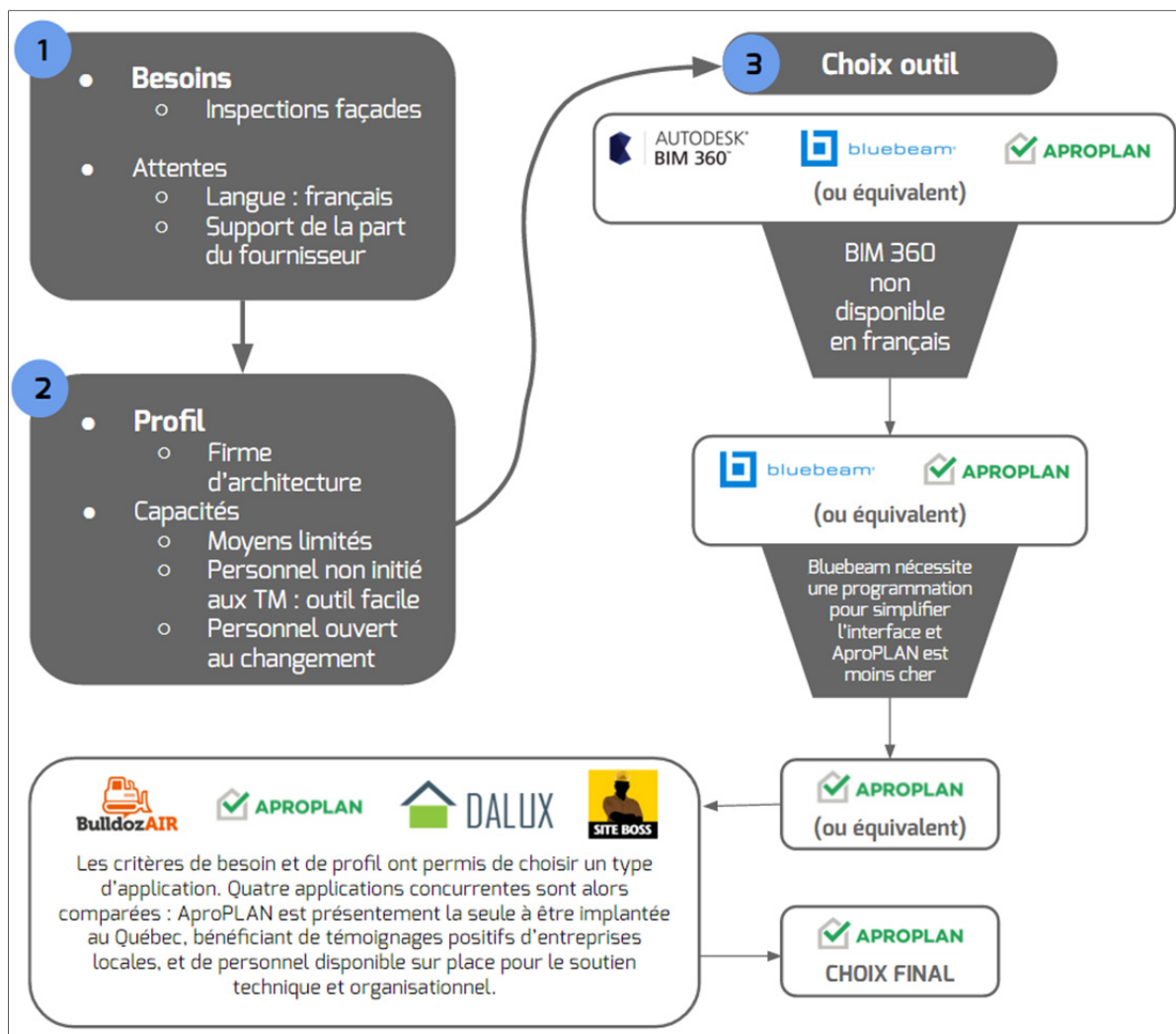


Figure 4.6 Les trois premières étapes du guide d'implémentation mises en pratique dans une firme d'architecture de taille moyenne

4. Plan d'implantation

L'élaboration du plan d'implantation est l'étape indispensable de préparation à la mise en place de la technologie. Cette étape est cruciale quelle que soit l'échelle et l'ampleur du changement. Cependant, plus l'application a un niveau de maturité élevé et implique un grand nombre d'utilisateurs, plus elle demandera d'effort et d'investissement.

Que l'implémentation des TM fasse sur une approche ascendante, dite « bottom-up » (par exemple sur suggestion d'une technologie de la part des personnes sur le terrain) ou sur une approche descendante, dite « top-down » (technologie imposée par la direction), il est important d'informer toute la hiérarchie de la venue du changement. L'enthousiasme des équipes de travail pour l'implantation de la nouvelle technologie sera un moteur de réussite. Comme il a été vu au **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et également constaté dans plusieurs autres études, la résistance au changement est un gros défi rencontré par les entreprises lors de l'adoption d'une TM (Forgues, Tahrani et Frenette, 2014; Usman et Said, 2012). Il est donc primordial d'assurer l'engagement initial de toutes les personnes concernées par le changement pour éviter au maximum la résistance. Certaines personnes seront ouvertes au changement et à l'aise avec la technologie tandis que d'autres seront plus réticentes.

« On a un surintendant de chantier qui a 67 ans. Au moment de la mise en place, il n'était pas familier avec les tablettes, mais on savait que ce monsieur-là aimait le golf... Donc on lui a donné l'iPad avec une application de golf, juste pour pratiquer puis là il s'est mis à s'en servir. »

Gestionnaire de projets, Entreprise de fabrication-conception (2015/04/02)

Avant même de démarrer l'implantation sur un vrai projet, les utilisateurs peuvent se familiariser avec l'outil du changement (tablette, téléphone intelligent...) ainsi que la technologie (application, logiciel) (Usman et Said, 2012). Ils doivent également être tenus informés des enjeux du changement (quelles tâches seront modifiées ? quelle est la nouvelle procédure à suivre ?). Les utilisateurs ne font pas forcément tous partie de l'entreprise qui est

à l'origine de la mise en place (un entrepreneur général voulant impliquer ses sous-traitant, un promoteur immobilier imposant l'outil aux équipes de conception et de construction, etc.), par conséquent la promotion de l'outil ne se fait pas toujours uniquement à l'interne. Aussi, pour des implantations à grande échelle, il est intéressant de cartographier l'arbre des personnes concernées afin de gérer les profils et les autorisations de chacun, ainsi que la maintenance par la suite.

En plus de préparer les utilisateurs et toutes les personnes concernées, il est important de préparer l'outil en lui-même. En effet, beaucoup d'applications ont une interface personnalisable, il faudra donc configurer celle-ci selon les besoins spécifiques de son futur utilisateur. Voici une liste synthétisant les points importants du plan d'implantation (tous les points ne sont pas toujours nécessaires)

- préparer les utilisateurs :
 - donner accès aux appareils mobiles à l'avance ;
 - inciter la familiarisation avec les appareils mobiles (installer des applications utiles au travail ou en rapport avec les centres d'intérêts de la personne) ;
 - diffuser la nouvelle du changement à toute la hiérarchie (pamphlets, affiches, courriels, réunions d'information, etc.) ainsi qu'à l'externe ;
 - permettre aux utilisateurs d'utiliser l'application avec un projet « démo » ;
 - organiser des sessions de formation, webinaires, vidéos de présentations, etc. pour apprendre à utiliser l'application ;
 - cartographier et diffuser les processus affectés par le changement ;
 - cartographier l'arbre des utilisateurs.

- préparer l'outil :
 - créer le projet et les comptes utilisateurs nécessaires, attribuer les autorisations de chaque personne (consultation seule, modification, administration...) ;
 - programmer l'interface et les fonctionnalités disponibles en fonction des besoins de l'utilisateur.

On remarque que certains cas de figure nécessiteront d'employer une, voire plusieurs personnes pour gérer toutes les étapes de l'implémentation puis du suivi. Le calcul de rentabilité de l'outil est alors indispensable, et celui-ci sera d'autant plus réaliste que le plan d'implantation est précis.

5. Accompagnement

Lorsque l'utilisation de l'outil en chantier démarre (projet pilote ou utilisation définitive), il est important de continuer l'effort de soutien auprès des utilisateurs. Il a en effet été montré que le soutien de la haute direction est un élément qui affecte particulièrement la qualité d'une adoption technologique dans un projet de construction (Sargent, Hyland et Sawang, 2012).

Le fournisseur de l'application mobile propose parfois un accompagnement personnalisé, et s'engage à aller régulièrement sur le chantier avec les utilisateurs pour leur porter soutien dans le lancement de l'utilisation. Dans d'autres cas il devra être effectué à l'interne. La durée varie toujours en fonction de la personne et de son autonomie, et même une fois l'utilisateur complètement autonome, un suivi régulier permet de faire une utilisation optimale de l'outil. À ce niveau, le choix du fournisseur se fait ressentir puisqu'il sera parfois le seul à pouvoir régler les problèmes des utilisateurs, et sa réactivité sera un atout. L'accompagnement permet de garder un regard objectif et un contrôle sur l'utilisation réelle de l'outil.

Si les visites volontaires aux utilisateurs sont utiles, il en va de même pour la disponibilité de l'équipe d'implémentation à répondre à leurs questions. En effet, qu'il existe un vrai « comité de soutien » ou que cette fonction soit occupée par le fournisseur ou une personne en interne, la disponibilité d'une personne désignée comme contact « officiel » pour le support technique et organisationnel est un gros atout pour les utilisateurs qui seront plus confiants et plus motivés à se servir de l'outil.

« On garde toujours un contact [avec les utilisateurs], on a un comité de support à l'interne. S'il y a des questions ils nous les envoient, c'est comme un forum »

Gestionnaire de projets, Entreprise de fabrication-conception (2015/04/02)

6. Amélioration

Les meilleures pratiques passent par l'amélioration continue. En effet, le suivi comme évoqué plus haut permet de collecter les retours sur expérience, d'ajuster et de changer les stratégies. En particulier, pour une application à interface « programmable » comme BIM 360, c'est en l'utilisant que le surintendant ou le gérant de projet va faire ses choix de préférences pour les modules, et que ceux-ci seront ajustés en conséquence. Il est donc important que la direction prenne l'initiative de faire le suivi auprès des utilisateurs, non seulement pour faire ces améliorations à l'interne ou en faire part au fournisseur, mais aussi pour valider les retours sur investissement, et justifier le renouvellement d'une licence s'il y a lieu. Essayer de tirer de réels chiffres de rentabilité permet de renouveler ou non l'expérience, ou bien de changer pour une technologie plus adaptée, et ces chiffres ou données qualitatives ne pourront être obtenus qu'après avoir testé et mis en place la technologie dans un environnement réel (Garrett Jr et Sunkpho, 2000; Menzel, Keller et Eisenblätter, 2004). De plus, être capable de donner ces chiffres et conclusions aux organismes de recherche et aux fournisseurs d'application permet l'amélioration continue du domaine des technologies en construction, ce qui mène à une meilleure adoption de la part de l'industrie (Gu et London, 2010).

« Suite aux retours des utilisateurs, nous avons modifié certaines commandes dans l'application [...] Ceci va leur permettre de gagner beaucoup de temps. [...] Ceci nous a été demandé par un grand nombre d'utilisateurs. »

Gestionnaire des ventes, Fournisseur d'application (2015/05/05)

1 BESOINS ET ATTENTES
Processus et tâches à automatiser Résultats visés Attentes fournisseur (service client accompagnement, etc.) Compatibilité appareils mobiles souhaitée Type de stockage des données
2 PROFIL ET CAPACITÉS
Discipline Budget total Budget achat initial Budget mensuel/annuel licence Budget support Niveau informatique des futurs utilisateurs Volonté/motivation des futurs utilisateurs
3 CHOIX TECHNOLOGIQUE
Niveau de maturité désiré Témoignages sur les outils présélectionnés Note et commentaires sur les magasins d'application Résultats des tests en laboratoire/projets pilotes Plan d'affaires
4 PLAN D'IMPLANTATION
Diffusion information du changement <ul style="list-style-type: none"> - Pamphlets, affichage roulottes de chantier - Courriels - Réunions d'information - Conditions dans appel d'offre Formation/préparation des utilisateurs <ul style="list-style-type: none"> - Distribution des appareils mobiles à l'avance - Pré installation d'applications pertinentes - Sessions de formation - Webinaires, vidéos libre accès, présentations PowerPoint... - Diffusion des nouveaux processus Préparation de l'application <ul style="list-style-type: none"> - Création projet, comptes, accès et autorisations - Programmation interface personnalisée à chaque utilisateur Cartographie de l'arbre des utilisateurs
5 ACCOMPAGNEMENT
Visites de démarrage sur chantier Visites régulières de suivi Mise à disposition du contact de support
6 AMÉLIORATION
Système de documentation des retours sur expérience Communication avec le fournisseur Rapport annuel de rentabilité Réunions régulières pour l'innovation

Figure 4.7 Liste synthétique des étapes du guide d'implémentation des TM

4.2.2 Tableau décisionnel

La section suivante propose un tableau aidant à la prise de décision pour le choix d'application. Les applications proposées dans ce tableau ne figurent pas toutes dans le tableau comparatif de la section 3.2. Afin de rendre possible la généralisation à tous les cas, les critères pris en compte ici sont uniquement les besoins généraux, le budget et le profil.

Les besoins ont été séparés en trois catégories :

Tableau 4.1 Les trois types de besoins

Gestion de chantier :	Gestion des heures de travail, du budget, des bons de commande, journal quotidien, ordres de changement, rapports d'incidents, etc.
Gestion de documents :	plateforme collaborative de gestion des plans, dessins d'atelier, documents administratifs et techniques, avec un système de mise à jour automatique et des options d'annotation
Gestion de projet :	Différentes options de fonctionnalités comme le partage et l'annotation de plans, la collaboration à distance, la création de rapports de visite ou de réunion, les mises en service, le contrôle de la qualité et de la sécurité, la surveillance de la main d'œuvre, etc.

Deux types de budget ont été pris en compte :

Tableau 4.2 Les deux types de budgets

\$	Budget réduit : entre quelques dollars et quelques dizaines de dollars par mois
\$\$	Budget important : une centaine de dollars par mois et plus

Selon ces critères, la Figure 4.8 propose des solutions d'applications, et en face de chacune, il est indiqué si elle est adaptée ou non à chacun des quatre principaux profils d'intervenants des projets de construction :

- architecte/ingénieur ;
- entrepreneur/fabricant ;
- sous-traitant ;
- client/promoteur immobilier.

Certaines applications seront plus ou moins adaptées au choix d'un client ou d'un promoteur qui veut imposer l'utilisation d'une TM à tous les intervenants. En effet, celle-ci doit d'abord être adaptée à tous et elle doit proposer un plan de financement adapté à cette situation qui requiert la participation d'un grand nombre d'utilisateurs. C'est pourquoi les applications qui proposent un plan tarifaire avec un nombre illimité d'utilisateurs ont été considérées comme mieux adaptées pour le client ou le promoteur immobilier.

Chaque entreprise est un cas particulier et la liste fournie constitue une suggestion type d'application. Le choix se précisera pour l'entreprise en fonction de ses propres critères, comme expliqué dans la section précédente. Aussi, chaque fournisseur est un cas particulier et offre un service et une relation clientèle différente qui sera un critère de choix déterminant. Ce tableau permet donc de diriger le choix de l'entreprise ou l'entité qui souhaite se tourner vers les TM, de donner des éléments de comparaison, pour ensuite faire un choix plus précis et adapté.

Remarque : On constate que les versions gratuites des applications proposent souvent un usage personnel ou un visionnage seul. Par conséquent, pour être à l'initiative d'une réelle collaboration entre intervenants, un partage, et un mode de travail intégré correspondant au dernier niveau de maturité, il faut prévoir un budget d'au moins une centaine de dollars par mois. Cependant, l'option « visionnage seul » offerte gratuitement permet par exemple à un entrepreneur de faire participer ses sous-traitants à moindre frais.

	GESTION DE CHANTIER	GESTION DOCUMENTAIRE	GESTION DE PROJET
\$	Site works OptiChantier	Newforma Plans Gratuit SmartUse Gratuit	ArchiPad Gratuit AproPLAN Gratuit BuldozAIR Professional Newforma Suite Gratuit
\$\$	Site Boss	Inktronik (1) BIM 360 Docs (1) Newforma Plans SmartUse	ArchiPad AproPLAN BuldozAIR Extended Enterprise Newforma Suite PlanGrid (1) <i>Applications BIM</i> Aconex (1) BIM 360 (1) Latista
<div><div><div>LÉGENDE</div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Cible principale architecte/ingénieur</div><div>Cible principale entrepreneur/fabricant</div><div>Cible principale sous-traitant</div><div>Tarif adapté client/promoteur</div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Adapté architecte/ingénieur</div><div>Adapté entrepreneur/fabricant</div><div>Adapté sous-traitant</div><div>Adapté client/promoteur</div></div></div></div><p>(1) Ces applications proposent un tarif personnalisé avec nombre illimité d'utilisateurs, ce qui est intéressant pour le client ou le promoteur qui veut imposer l'outil</p></div>			

Figure 4.8 Tableau décisionnel pour guider le choix technologique

4.2.3 Gabarit de plan d'affaires

Pour compléter le choix technologique, il est primordial de mesurer le plus précisément possible l'impact de son implantation dans les processus de l'entreprise avant de la mettre en place dans le but de s'assurer de la rentabilité et le potentiel du changement. Il est recommandé de préparer un plan d'affaires qui doit être mis à jour chaque année pour chaque projet afin de décider du renouvellement ou non de l'opération ou des ajustements nécessaires à faire. La Figure 4.9 présente un gabarit de plan d'affaires permettant de rappeler les possibles dépenses et recettes liées à la mise en place d'une technologie mobile et des changements de procédures associés.

Coûts				Bénéfices			
	Qté	P.U.	P. total		Qté	P.U.	P. total
Technologie				Temps de travail			
Achat application sur le portail		\$	\$	Surintendant		\$	\$
Abonnement mensuel ou annuel		\$	\$	Gestionnaire de projet		\$	\$
Options supplémentaires		\$	\$	Adjoint technique		\$	\$
Achat des appareils		\$	\$	Ouvrier		\$	\$
Calculé directement d'après le choix technologique				Chargé de projet		\$	\$
				Ingénieur		\$	\$
				Architecte		\$	\$
				Autre(s)		\$	\$
Stratégie				Déplacements			
<u>Pré-implantation</u>				Prix au km		\$	\$
Promotion à l'interne et aux autres intervenants (pamphlets, affiches, vidéos, diffusions, etc.)		\$	\$	Calculé grâce à la cartographie des processus			
Préparation de l'interface de l'application (personnalisation propre au projet)		\$	\$				
Paieement d'un spécialiste		\$	\$				
<u>Formation</u>				Autre			
Séances de formation (salle, formateur, etc.)		\$	\$	Réduction des reprises		\$	\$
Temps de travail des utilisateurs en formation		\$	\$	Crédits d'impôt		\$	\$
Paieement d'un spécialiste pour la formation		\$	\$				
<u>Soutien - suivi</u>				Les formations peuvent donner droit à des crédits d'impôt			
Service après-vente du fournisseur		\$	\$	Calculé sur la base du plan d'implantation			
Paieement d'un spécialiste pour le soutien		\$	\$				
Sous Total			\$	Sous Total			\$
TOTAL				\$			

Figure 4.9 Gabarit de plan d'affaires

CHAPITRE 5

VALIDATION

La dernière partie de la recherche concerne la mise à l'épreuve du Guide d'implémentation dans le but de valider la proposition de changement. Dans ce chapitre, une partie de la trousse d'outils a donc été confrontée à la réalité d'une entreprise de construction. Le processus de choix technologique du Guide d'implémentation (trois premières étapes) a été appliqué chez un entrepreneur général souhaitant mettre en place une application mobile de réalité augmentée sur ses chantiers pour accéder aux données du bâtiment.

5.1 Présentation de l'expérimentation

La réalité augmentée (RA) est la superposition du virtuel au réel, elle permet de contextualiser des données. Bien que de nombreux exemples soient liés à la vision, la réalité augmentée peut « augmenter » n'importe lequel des cinq sens⁵. Aujourd'hui les applications de réalité augmentée sont de plus en plus matures et polyvalentes (Chi, Kang et Wang, 2013). En effet, les possibilités d'utilisation de la RA sont nombreuses et prometteuses pour l'industrie de la construction. Les usages possibles peuvent s'étendre sur toutes les phases d'un projet de construction, depuis la promotion immobilière en passant par la conception, la construction et même la maintenance (Wang et al., 2013). Les outils mobiles sont parfaitement adaptés à l'application de la réalité augmentée puisqu'ils permettent de se déplacer à n'importe quel endroit et de superposer le virtuel au réel à travers leur caméra intégrée.

Dans le cadre de cette validation, un entrepreneur général a été rencontré et a fait part de ses intentions de mettre en application les dernières innovations en réalité augmentée sur ses chantiers de construction à des fins de gestion et de partage de l'information. La réalité augmentée est en effet à la fois un moyen très représentatif mais aussi très intuitif de partager

⁵ Source : <http://www.augmented-reality.fr/cest-quoi-la-realite-augmentee/>

l'information, ce qui peut s'avérer attrayant pour le client et très confortable d'utilisation pour les professionnels travaillant sur le projet. La validation a donc consisté en l'application des trois premières étapes du Guide d'implémentation afin d'aider l'entreprise dans son choix technologique. Comme le suggère le Guide, les besoins et attentes, ainsi que le profil et les capacités de l'entreprise et des personnes qui la composent ont donc été analysés afin de faire une première sélection de solutions. Ces quelques solutions ont ensuite été testées et comparées pour arriver à une conclusion d'outil le mieux adapté.

5.2 Définition des besoins et attentes

Bien que l'entreprise ait déjà ciblé une utilisation précise des TM pour ses chantiers, à savoir la réalité augmentée, sa volonté de se tourner vers cette technologie repose sur des besoins particuliers liés aux possibilités qu'offre la réalité augmentée. Le Tableau 5.1 présente les besoins et attentes de l'entreprise selon les lignes directrices définies par le Guide d'implémentation.

Tableau 5.1 Besoins et attentes de l'entrepreneur général vis-à-vis des TM

Processus/tâches ciblés	<ul style="list-style-type: none"> - visualisation du projet pour le client ; - visualisation de l'existant inaccessible avant le début des travaux ; - comparaison du modèle BIM et du tel que construit sur chantier ; - accès aux données du bâtiment pour les mises en service ; - accès aux données du bâtiment pour la maintenance.
Résultats visés	<ul style="list-style-type: none"> - gain de clients grâce à la visualisation et à l'outil de maintenance ; - réduction des erreurs grâce à l'outil de comparaison ; - gain de temps pour les mises en service.
Attentes fournisseur	- réactivité et prise en compte des suggestions utilisateurs
Compatibilité	- tablettes iPad
Type de stockage	- infonuagique

5.3 Caractérisation du profil

Le profil de l'entreprise a toujours son importance dans le choix technologique. Ici par exemple, l'entrepreneur général réalise ses projets sous différents modes contractuels qui peuvent lui donner différentes responsabilités et donc différents besoins technologiques. En effet, il peut agir en mode gestion de projet et l'administration de l'ouvrage s'arrêtera à la fin du chantier comme il peut prendre part à l'exploitation du bâtiment en mode gérance de construction. Dans les deux cas les besoins ne seront pas les mêmes en termes de tâches visées. Le Tableau 5.2 synthétise le profil et les capacités de l'entreprise.

Tableau 5.2 Profil et capacités de l'entrepreneur général vis-à-vis des TM

Discipline	Entrepreneur général pouvant agir en : - gérance de construction ; - gestion de projet ; - conception-construction.
Budget	L'entrepreneur possède déjà des licences pour différentes applications mobiles d'Autodesk et souhaite en priorité explorer les possibilités dans ces applications pour ne pas racheter de licence. Budget pour une autre application de quelques dizaines de dollars par mois de licence par utilisateur.
Niveau informatique des utilisateurs	Les utilisateurs ont un bon niveau informatique et notamment utilisent déjà des iPad sur les chantiers pour d'autres applications BIM.
Motivation des utilisateurs	En raison de leur expérience concluante avec les TM les utilisateurs ont un bon a priori sur l'introduction de nouvelles solutions. En outre, la RA est une technologie très intuitive et très visuelle, ce qui en fait un outil attractif.

5.4 Choix d'un outil adapté

À partir des besoins et du profil établis, différentes solutions de RA sur outils mobiles ont été envisagées et testées afin de trouver la mieux adaptée. Dans un premier temps, les applications répondant aux besoins en termes de tâches et de processus ont été sélectionnées, puis elles ont toutes été mises à l'épreuve sur un même projet fictif pour tester leur précision, réactivité, avantages et défauts.

5.4.1 Analyse des différentes fonctionnalités attendues de la RA

1. Visualisation de la conception

La RA peut permettre de visualiser en lieu et place du futur bâtiment, le modèle 3D du projet en question, ce qui a pour avantage de placer le projet dans son contexte géographique réel et dans son environnement. La Figure 5.1 montre un exemple de réalité augmentée utilisée dans ce contexte. Ce type d'usage donne la possibilité de montrer au client un aperçu beaucoup plus réaliste du projet, ce qui n'était jusqu'alors pas possible en construction.



Figure 5.1 Utilisation de la RA pour visualiser la conception du futur projet en contexte réel
Tirée de Errin (2011)

2. Pré-construction : visualisation de l'existant inaccessible

Dans un contexte de travaux urbains ou de travaux d'infrastructures, la RA peut permettre d'éviter de faire des sondages, sous réserve qu'un modèle 3D des infrastructures urbaines existantes soit disponible. En effet, en ayant connaissance de l'emplacement de certains conduits par exemple, les travaux de terrassement peuvent être guidés. La Figure 5.2 montre l'exemple de la ville de Las Vegas qui a décidé de modéliser toutes ses infrastructures afin de pouvoir accéder aux informations sur les équipements urbains sans effectuer de sondage.



Figure 5.2 Utilisation de la RA pour visualiser l'existant inaccessible avant le début des travaux
Tirée de Zeiss (2013)

3. Confrontation du modèle BIM avec le produit réel

Lorsqu'un modèle BIM du projet est disponible, la réalité augmentée offre la possibilité de confronter ce qui était prévu avec ce qui a réellement été réalisé, au fur et à mesure de la construction. Cela rend alors beaucoup plus simple le contrôle de la qualité ou encore le suivi du planning du projet. La Figure 5.3 montre la superposition du modèle BIM avec la réalité sur le chantier.



Figure 5.3 Utilisation de la RA pour confronter le modèle de conception BIM avec le tel que construit
Tirée de Fetterling (2013)

Une étude faite en 2012 (Park et al., 2013) montre l'utilité de la réalité augmentée pour le contrôle du travail sur le chantier : l'application détecte les différences existant entre le modèle BIM (ce qui était prévu) et la réalité (ce qui a effectivement été construit) et détecte ainsi les erreurs. Cette application restée au stade expérimental n'est pas commercialisée, elle permet cependant de mesurer le potentiel de la RA pour la construction.

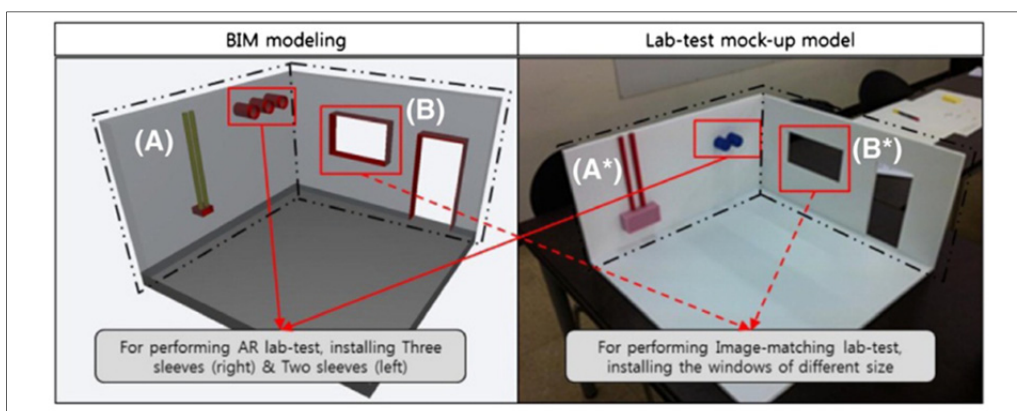


Figure 5.4 Prototype d'application de RA pour la détection de non-conformités entre le modèle BIM et le réel
Tirée de Park et al. (2013)

4. Post-construction : mise en service

La mise en service du bâtiment peut être accélérée et simplifiée grâce à la réalité augmentée : les informations concernant les éléments du projet sont disponibles en temps réel sans avoir besoin de les rechercher dans les rapports.

5. Maintenance du bâtiment : accès à toutes les données

En supposant que le modèle BIM du bâtiment ait été mis à jour au fur et à mesure de l'avancement du projet, de sorte qu'un modèle BIM du tel que construit soit disponible, la réalité augmentée peut alors donner accès à toutes les données nécessaires à la maintenance, assurant ainsi une gestion optimale du cycle de vie. Pour les éléments se trouvant par exemple derrière les murs ou les faux-plafonds comme les conduits ou les installations électriques, il devient alors possible de savoir où ils se trouvent avant d'y accéder physiquement, et d'avoir accès à toutes leurs propriétés (matériaux, dimensions, etc.). La Figure 5.5 montre un exemple de visualisation des équipements inaccessibles après la construction.



Figure 5.5 Utilisation de la RA pour accéder aux données du bâtiment pendant la phase d'exploitation
Tirée de Porwal (2015)

5.4.2 Comparaison de plusieurs solutions

La RA est une technologie émergente mais quelques applications sont déjà commercialisées pour la construction et en particulier pour les fonctionnalités attendues ici. Dans un premier temps, les pistes de solutions au sein d'Autodesk ont été poursuivies. En effet, la firme possède déjà les licences des produits Autodesk, l'entente avec ce fournisseur fonctionne bien, et les modèles BIM des projets sont réalisés avec le logiciel Revit d'Autodesk, ce qui facilitera la compatibilité. L'application la plus aboutie d'Autodesk en termes de RA est Infraworks 360 pour iPad. Après avoir chargé un modèle Revit dans le logiciel Infraworks 360 sur ordinateur, il est possible de visualiser celui-ci en contexte réel grâce à l'application iPad Infraworks 360. D'autres pistes de solutions ont été poursuivies pour comparaison : SightSpace 3D, Rendra O et BIManywhere.

La Figure 5.6 synthétise le comparatif des quatre applications et de leur capacité à répondre aux fonctionnalités demandées. Pour chacune d'entre elles, la RA a été testée à partir d'un modèle BIM des bureaux de l'entreprise. De cette façon, il était possible à chaque rendez-vous avec la firme de faire des tests de visualisation en contexte réel et de voir la réactivité et la précision de chaque application. Le principal critère qui a départagé les applications a été le type de géolocalisation. En effet, il a été vu que le GPS de l'iPad n'est pas assez précis pour visualiser des données à petite échelle (intérieur du bâtiment ou seulement quelques mètres de recul). Une étude a d'ailleurs montré que dans le cas d'un usage de la RA à l'aide du seul GPS de la tablette, la déviation des objets projetés dans 80% des cas d'une étude était de 5 à 6 mètres (Schmid et Langerenken, 2014). Certaines applications proposent donc des alternatives comme l'utilisation de la localisation par Wifi, la détection de marqueurs avec la caméra de l'iPad, ou encore le branchement d'un GPS externe plus précis. Enfin, d'autres critères de comparaison se sont avérés importants comme l'accès aux informations sur les objets, la superposition au réel avec la caméra de l'appareil, ou le prix de la licence.




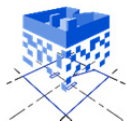
   				
Nom	Infraworks 360	SightSpace 3D	Rendra O	BIManywhere
Fournisseur	Autodesk	Limiteless Computing	Rendra	The Vault Inc.
Compatibilité	iPad	iPad et Android	iPad et Android	iPad
Langue	anglais et français	anglais et français	anglais	anglais, chinois
Format(s) supportés	.RVT	.SKP, .KMZ, .KML	.IFC	.NWD, .DWF
Localisation	GPS, wifi	GPS, wifi, GPS externe, marqueurs	manuelle	GPS, marqueurs
Superposition au réel	Oui	Oui	Non	Non
Prix (USD) (u. = utilisateur)	Sur demande	\$40/ 30 jours / 1 u. \$200/ 6 mois / 1u. \$400/ 1 an / 1 u. \$500 à vie / 1 u.	\$200/mois / 5 u. \$500/mois / 18 u. \$800/mois / 36 u. \$1800/mois / 72 u.	\$75/mois / 1 u. \$750/an / 1 u. <u>Si 10+ u. :</u> \$600/an / 1 u.
UTILISATIONS				
Visualisation de la conception (extérieur)	+	++	+	++
Visualisation de la conception (intérieur)		+	+	++
Pré-construction: visualisation de l'existant inaccessible		++		+
Confrontation du modèle BIM avec le produit réel			+	++
Post-construction: mise en service			++	++
Maintenance du bâtiment: accès à toutes les données			+	++

Figure 5.6 Comparatif entre 4 applications de RA testées sur un projet fictif commun

Pour chaque application testée sur le projet fictif, des avantages et des inconvénients ont été détectés. Malheureusement, les avantages des uns ont constitué les inconvénients des autres, mais aucune application n'a répondu à tous les critères demandés tandis que chaque critère a été retrouvé dans au moins une application. Le potentiel de la RA a donc bien été démontré, mais le marché ne propose pas encore d'application mobile vraiment aboutie pour la gestion de projets de construction.

Voici les avantages et les défauts qui ont été retenus pour chaque application :

Infraworks 360 a l'avantage d'être déjà en place dans l'entreprise (c'est aussi un logiciel de modélisation d'infrastructures civiles). De plus Infraworks permet l'importation directe de fichiers Revit depuis l'interface sur PC du logiciel Infraworks pour la visualisation en mode réalité augmentée dans l'application pour iPad. Cependant, elle requiert aussi un long processus pour arriver jusqu'à la visualisation en mode RA. Le mode RA s'appuyant sur une localisation via le GPS de l'iPad additionné d'une éventuelle connexion internet, la précision est de plusieurs mètres, ce qui rend la visualisation intérieure inadéquate, et la visualisation de l'extérieur peu précise (voir Figure 5.7). Il est ressorti de cette étude que ce logiciel est adapté pour un usage de **visualisation de la conception** avec plusieurs dizaines de mètres de recul, mais pas pour une visualisation intérieure ni pour tout autre usage attendu par l'entreprise. Les applications Autodesk sont en constante évolution et les suggestions des utilisateurs sont souvent mises en application, ce qui laisse la porte ouverte à une amélioration de cette application et à une compatibilité dans le futur entre les besoins de la firme et les solutions proposées par Autodesk.



Figure 5.7 Utilisation du mode RA d'Infraworks 360 : la précision de la position des objets est de plusieurs mètres

L'application SightSpace3D ne supporte pas les fichiers .RVT qui sont ceux utilisés par la firme pour les modèles 3D des projets, cependant il est possible d'exporter un modèle Revit au format .KMZ ce qui peut être une solution pour la compatibilité entre Revit et l'application de réalité augmentée (manipulation plus longue). En revanche, l'utilisation d'un GPS externe ou de marqueurs pour le mode RA permet d'avoir une meilleure précision qu'avec Infraworks 360. Ainsi les usages possibles de la RA seront plus larges : SightSpace 3D pourrait permettre un usage **extérieur et intérieur** de **visualisation de la conception** grâce aux marqueurs. De la même façon, il pourrait servir à la **visualisation de l'existant inaccessible** pour les infrastructures urbaines puisqu'il est nécessaire dans ce cas d'avoir une précision au-delà de l'ordre du mètre. En revanche, l'incompatibilité avec le format .RVT ou .IFC rend impossible l'utilisation en mode BIM, soit l'accès aux données du bâtiment et aux

informations de chaque objet. Les autres usages de la RA comme la confrontation du modèle BIM au produit réel ou l'utilisation pour les mises en service ne sont alors pas envisageables avec SightSpace 3D.

Rendra O permet de réellement travailler en BIM. D'abord, sa compatibilité avec le format .IFC la fait entrer dans les standards du BIM et l'application offre l'accès direct à toutes les données du bâtiment. Le téléchargement du modèle IFC dans l'application est très rapide et la navigation à travers les objets est très facile : il suffit de cliquer sur un élément pour voir apparaître sur le côté toutes ses propriétés. En revanche, la navigation dans le modèle pour cette application est manuelle (immersion dans le modèle 3D en cliquant sur l'endroit du plan où l'on se trouve), ce qui enlève à l'application sa vraie fonction de réalité augmentée : il s'agit alors plutôt de réalité virtuelle. Cependant, pour un usage de **visualisation de la conception**, intérieur ou extérieur, ou encore de **confrontation du modèle BIM avec le produit réel**, et même la **mise en service**, la navigation manuelle reste la façon la plus efficace de se déplacer dans le bâtiment. En effet, comme il a été vu plus haut, la localisation par GPS ou wifi n'est pas assez précise. Quant aux marqueurs, ils offrent une localisation beaucoup plus précise, mais ils exigent de scanner des objets avec la caméra pour mettre le modèle en place, or, lorsqu'on se déplace parmi les couloirs ou les étages d'un bâtiment, cela peut devenir fastidieux et résulter en une perte de temps. Pour des inspections nécessitant un déplacement, Rendra O serait donc la plus appropriée. En revanche, elle ne permet pas de superposer l'image de la caméra avec le modèle BIM, ce qui la rend incompatible avec la fonctionnalité de visualisation du projet en contexte réel pour le client.

L'application BIManywhere possède les mêmes avantages que Rendra O, avec l'option des marqueurs et du gyroscope (le déplacement de l'iPad entraîne un déplacement du point de vue) en plus, ce qui la fait se rapprocher davantage de la réalité augmentée. La seule fonctionnalité manquante qui empêche de comparer réellement l'existant au modèle sur l'écran de l'iPad est l'activation de la caméra lorsque le gyroscope est en route. Comme il est possible de ne sélectionner que certains objets à afficher, cette option permettrait par exemple de n'afficher que les conduits de plomberie qui ne sont pas encore construits et de les

superposer aux travaux déjà effectués pour s'assurer que l'espace sera suffisant pour les accueillir. Il reste tout de même très intéressant de pouvoir se retrouver immergé dans le modèle au bon emplacement en quelques secondes en scannant le QR Code placé sur le chantier. Tout comme Rendra O, l'absence de superposition réel/virtuel empêche la visualisation en contexte réel qui faisait partie des attentes de l'entreprise.

Finalement, bien que toutes les solutions étudiées soient prometteuses, aucune ne remplit toutes les attentes de la firme. Ce constat n'aurait pu se faire sans avoir testé les applications sur un projet fictif. En particulier, la précision de la géolocalisation n'est pas un critère que les fournisseurs d'application donnent dans la description de leurs produits. En outre, contrairement à ce que l'on pourrait croire, la fonctionnalité de superposition de l'image caméra avec le modèle n'est pas toujours évidente non plus dans les descriptions, d'où la nécessité de tester les applications. Les pistes de solutions pour l'entreprise se tournent maintenant vers de nouveaux outils comme l'application Pericept, qui permettrait à la fois la superposition du virtuel et du réel, et la détection d'objet pour une géolocalisation ultra précise. Cette application est en cours de développement et n'est pas encore disponible sur le marché mais semblerait constituer une solution prometteuse pour la firme. En outre, des suggestions d'améliorations ont été faites auprès d'Autodesk pour la précision de la localisation. Cette piste est encore envisagée puisque les licences sont déjà possédées par l'entreprise.

5.5 Discussion

Bien que le choix de l'entreprise ne se soit finalement porté sur aucun produit, il est clair que l'étude qui a été faite a été bénéfique. Premièrement, l'entreprise sait exactement quel outil viser et lorsque celui-ci sera disponible à la commercialisation, elle pourra faire son choix beaucoup plus rapidement et sera assuré qu'il est adapté à ses besoins. Deuxièmement, comme il a été soulevé dans la section précédente, plusieurs critères déterminants concernant le fonctionnement des applications ne sont pas visibles dans la description qu'en fait le vendeur. L'étude a permis de mettre en lumière ces critères et de ne pas faire un achat non

fondé, qui aurait coûté de l'argent à l'entreprise sans vraiment répondre à ses besoins. Par conséquent l'utilisation de l'application aurait probablement été abandonnée. Une implémentation ratée représente une perte totale de l'investissement qu'elle représente, tandis qu'une étude apporte toujours des réponses, elle ne peut pas constituer une perte totale. Pour conclure, bien que ce cas extrême n'ait mené à aucun choix immédiat de solution, on remarque qu'il en résulte tout de même une situation bénéfique dans laquelle un achat non approprié a été évité, et où le terrain est préparé pour un achat futur, ce qui donne à la firme une longueur d'avance dans le domaine de la RA, dans lequel elle pourra faire partie des pionniers lorsque le moment sera venu. L'étude aura permis de diriger l'entreprise vers l'outil qui lui permettrait le meilleur rendement selon ses besoins, dans l'attente que celui-ci soit disponible sur le marché.

Finalement, par manque de temps les étapes 4, 5 et 6 du Guide d'implémentation n'ont pas pu être appliquées à l'industrie pour être mises à l'épreuve. En effet, l'entreprise dans laquelle ont été appliquées les étapes 1, 2 et 3 ne partant pas immédiatement vers la mise en place d'un outil, le processus du guide devait alors être réappliqué entièrement à une autre entreprise, ce qui constituait plusieurs mois voire années de travail. L'application de l'intégralité des étapes du guide dans une entreprise fait cependant partie des recommandations pour les futurs travaux de recherche.

CONCLUSION

Ce mémoire visait à proposer une solution à l'informatisation de la gestion de l'information sur le chantier à l'aide des TM. Les études de cas ont confirmé qu'à cette fin, le manque d'importance accordée à l'aspect stratégique lors de l'adoption des TM par les entreprises québécoises de la construction devait être résolu. La revue de la littérature et les précédents travaux de Frenette qui constituent la base de ce mémoire avaient en effet clairement souligné ce problème et l'avaient placé au centre de la problématique de l'adoption des TM. En abordant la situation existante du triple point de vue technologique, organisationnel et procédural, la situation a été éclaircie et actualisée, et le problème stratégique a pu être abordé sur des bases claires et bien définies. Notamment, comme le suggéraient les recommandations de Frenette, le quatrième niveau de maturité des applications mobiles (administration et gestion de projets) a été scindé en deux sous-niveaux qui se sont logiquement séparés entre les applications simples et intuitives et les applications plus complètes et programmables.

L'apport principal de ce mémoire face au problème stratégique est le Guide d'implémentation inclus dans la trousse d'outils. Ce guide proposant une stratégie d'adoption en six étapes clés, destiné aux entreprises de la construction, s'est présenté comme la meilleure solution. En effet, cette solution aborde le problème stratégique du point de vue global, se présentant de façon chronologique et mêlant ainsi les trois thèmes clés « organisation », « technologie » et « procédure », sans les dissocier ni privilégier l'un d'entre eux. De cette façon il est possible non seulement de répondre aux défis exprimés par les entreprises québécoises dans le passé et dans le présent, mais aussi de prendre en compte et de faire partager les meilleures pratiques qu'elles ont su mettre en place, ainsi que d'inclure des données variées issues des fournisseurs d'applications, des magasins d'applications, de la littérature, etc. En résumé, le fait de se concentrer sur le schéma « organisation, technologie, procédure » en ne négligeant aucun des trois aspects, a permis d'élaborer une solution à la fois réaliste et généraliste. En effet, elle prend en compte une large gamme de données issues de cas réels et tend à s'adapter aux plus de cas possible dans

la diversité des intervenants des projets de construction. Ce guide apporte à l'industrie québécoise de la construction la synthèse d'une grande quantité de données, offrant aux entreprises la possibilité de réduire considérablement la partie « étude » de leur implémentation, de bénéficier de l'expérience des précurseurs dans l'adoption des TM, et de suivre des lignes directrices toutes tracées et fiables. S'appuyant en grande partie sur les entreprises innovantes du présent, et touchant à un domaine en rapide développement, ce guide se veut évolutif à mesure que le nombre d'entreprises innovantes évolue, que les applications s'améliorent et se développent, offrant de plus en plus de possibilités.

Le Guide d'implantation est donc l'apport central de la proposition de changement que fait ce mémoire tandis que les autres éléments de la proposition gravitent autour de ce Guide pour lui donner un soutien de second plan mais nécessaire. La cartographie des processus a donné une visualisation instantanée des changements de nature procédurale impliqués dans l'adoption d'une TM et a permis d'illustrer clairement les zones de la gestion de l'information qui pouvaient être informatisées bien que cette liste ne soit pas exhaustive. Le tableau décisionnel aura quant à lui clarifié la situation sur le plan technologique. Enfin, le gabarit de plan d'affaires synthétise les éléments financiers à prendre en compte, ce qui est souvent la question centrale pour une entreprise. Cette trousse d'outils et le premier apport de son genre pour les TM en construction. Elle apporte un travail de synthèse des solutions possibles et des manières de les implanter, et a la particularité de répondre spécifiquement aux besoins et au contexte des entreprises québécoises.

La validation des trois premières étapes du Guide d'implémentation (Besoins, Profil, Choix technologique) auprès d'un entrepreneur général a fait ressortir leur importance et leur pertinence. Il est clair qu'une partie du Guide seulement ait été mise à l'essai, et qu'il serait intéressant dans le futur d'appliquer toutes les étapes du Guide à l'industrie. Néanmoins, cette validation a déjà mis en avant des résultats qui n'auraient pas pu être obtenus sans la réalisation des trois premières étapes. Ces résultats ont permis de ne pas lancer un investissement « à l'aveugle » dans une technologie qui n'aurait pas été adaptée pour l'entreprise et qui aurait probablement constitué une perte. Dans le cas en question, le choix

de l'entreprise ne s'est porté sur aucune des technologies testées à la fin de l'étude. Ce cas a aussi montré que les TM ne sont pas systématiquement la solution « miracle ». La section 0 de ce mémoire présente les TM comme un outil au changement et non une solution. En effet, le fort potentiel d'amélioration via les TM dans la gestion de l'information des projets de construction a été démontré, mais le choix d'une TM se basant sur le contexte très particulier de l'entreprise, des personnes qui la composent et du projet en lui-même, il n'existe pas toujours un outil mobile parfaitement adapté. En résumé, la partie validation a bien illustré la pertinence des étapes du Guide, sans pour autant montrer que ce dernier était exhaustif. Il est clair que l'apport de plus de données et d'une plus grande variété pourrait contribuer à l'améliorer et à le compléter.

Ce mémoire apporte une documentation du retour sur expérience de l'industrie à travers l'analyse des précédents travaux de recherche, les études de cas de Frenette et les études de cas conduites pour ce projet. Il apporte également une solution évolutive au problème du manque de stratégie soulevé à de nombreuses reprises. Cette solution se veut généraliste à travers l'industrie de la construction, elle a été en partie validée auprès d'un entrepreneur et nécessite encore d'être mise à l'essai.

RECOMMANDATIONS

Pour les futurs travaux de recherche, les suggestions sont les suivantes :

- appliquer toutes les étapes Guide d'implémentation à l'industrie afin d'en évaluer la pertinence et de le compléter ;
- mettre à niveau le Guide d'implémentation vis-à-vis de l'évolution de la situation des TM en construction au Québec ;
- travailler avec des entreprises de différents domaines dans le but de cartographier plus de processus avant/après adoption des TM.

ANNEXE I

Questionnaire d'entrevue semi-dirigée – Profil utilisateur

Introduction

- présentation du projet ;
- permission d'enregistrer l'entrevue ;
- formulaire de confidentialité.

Présentation de la personne interviewée

Questions

1. Généralités

Quel est votre fonction dans l'entreprise/votre rôle dans le projet ?

Quelle est votre ancienneté dans l'entreprise et quelle est votre expérience dans le domaine de la construction ?

Depuis combien de temps utilisez-vous _____ ?

2. Implantation : comment s'est déroulée l'implantation de _____ dans votre entreprise?

- stratégie d'implantation ;
- diffusion de l'information parmi les employés ;
- consultation des futurs utilisateurs ;
- appui de la part de la direction ;
- formation technique/théorique ;
- utilisation progressive ;
- formation autres intervenants.

Avez-vous été enthousiaste ou réticent à l'utilisation de cette nouvelle technologie ?

Pourquoi ? Qu'en est-il de l'appréciation générale ?

Est-ce que vous considérez que _____ est maintenant complètement intégré aux projets ?

3. Difficultés rencontrées : Quelles sont les difficultés auxquelles vous avez fait face durant l'implantation de _____ ?

- personnellement ;
- en général ;
- intervenants extérieurs ;
- légal ;
- recommandations.

4. Travail collaboratif : quelle différences appréciez-vous par rapport au processus traditionnel ?

- comparaison communication avant/après, courriels/_____ ;
- fluidité, simplicité...

5. Retombées : quelles ont été les retombées de l'utilisation de _____ sur le chantier ?

- budget ;
- échéancier ;
- qualité ;
- sécurité ;
- retour client satisfait ;
- prévu/réel ;
- chiffres.

6. Conclusions

Êtes-vous satisfait de l'utilisation de _____ dans vos projets ?

Quel est votre ressenti général concernant l'implantation de _____ dans votre entreprise ?

Avez-vous des remarques/questions supplémentaires ?

ANNEXE II

Questionnaire d'entrevue semi-dirigée – Profil décideur

Introduction

- présentation du projet ;
- permission d'enregistrer l'entrevue ;
- formulaire de confidentialité.

Présentation de la personne interviewée

Questions

1. Généralités

Quand avez-vous décidé d'implanter une nouvelle technologie dans votre entreprise ?

Depuis combien de temps est-elle mise en place ?

Quelles sont les raisons qui vous ont poussé à adopter une nouvelle technologie ?

Pourquoi avoir choisi _____ en particulier ?

2. Implantation : quelle a été votre stratégie d'implantation pour _____ ?

- diffusion parmi les employés ;
- formation technique/théorique ;
- changement de processus ;
- appui de la direction ;
- temps d'implantation ;
- niveaux d'utilisation – adoption progressive ;
- intervenants extérieurs – consultatif/participatif.

3. Difficultés rencontrées : quelles sont les difficultés auxquelles vous avez fait face lors de l'implantation de la technologie ?

- résistance au changement ;
- changement dans le processus de travail ;
- légal ;
- comparaison corps de métiers/adoption ;
- recommandations.

4. Travail collaboratif

Quel est le nouveau schéma de communication grâce à _____ ? (Centralisé ? moins dispersé ? moins de liaisons ? Le surintendant ou adjoint technique est-il déchargé ?)

5. Retombées

- budget ;
- échéanciers ;
- qualité ;
- sécurité ;
- retour satisfaction client ;
- attendues/réelles ;
- chiffres.

6. Conclusions

Quel est votre ressenti général concernant l'implantation de _____ dans votre entreprise ?

Avez-vous des remarques/questions supplémentaires ?

Serait-il possible de recueillir le témoignage des utilisateurs eux-mêmes ?

ANNEXE III

Questionnaire d’entrevue semi-dirigée – Profil développeur

Introduction

- présentation du projet ;
- permission d’enregistrer l’entrevue ;
- formulaire de confidentialité.

Présentation de la personne interviewée

Présentation de l’application par le développeur

Questions - précisions

1. Présentation

Comment se fait le stockage (sur l’appareil, sur un cloud, ...) ?

La licence est-elle valide par appareil ou par utilisateur (un compte sur plusieurs appareils) ?

Comment se fait la synchronisation (automatique ou non) ? Y a-t-il un mode « hors ligne » ?

Quelles sont les fonctionnalités ? (Consultation de documents, annotation de documents, partage de documents, ...)

2. Historique

Depuis combien de temps existe _____ ? Évolution des versions ? Nombre de clients ?

Concurrent principal ?

3. Cadre d'implantation

Quels sont les clients visés ? (type, étendue géographique)

Quelles sont les conditions d'implantation usuelles pour cette technologie ? (prérequis, formation des utilisateurs, bouleversement des processus de travail,...)

Proposez-vous une stratégie d'implantation ou le client la met-il en place lui-même ?

Y a-t-il plusieurs niveaux d'utilisation possible ? (si oui, lesquels ?) Peut-on l'utiliser de façon évolutive/progressive ? (expliquer)

4. Retombées

Quels sont les raisons qui sont à la source de la création de l'application ?

Quelles sont les retombées visées ? (budget, planning, qualité, sécurité,...)

Est-ce que des utilisateurs peuvent en témoigner avec des chiffres ? (si déjà commercialisé)

5. Difficultés rencontrées

Quelles sont les difficultés rencontrées lors de l'implantation de la technologie ? (Résistance au changement, changement dans le processus de travail, etc.)

Quelles sont vos recommandations pour faire face à ces difficultés ?

6. Travail collaboratif

Comment cette application peut-elle s'adapter à un projet BIM s'il y a lieu ? Est-elle compatible avec d'autres plateformes ?

Peut-on communiquer ou interagir via l'application ? En direct, en différé ou les deux ?

Quel est le type d'utilisation ? Personnel, partage, collaboratif ?

7. Étude de cas

Est-ce qu'une étude de cas dans le cadre de ce projet est envisageable ? (quelle entreprise/quel lieu)

Avez-vous des questions concernant notre projet ?

ANNEXE IV

Guide des Technologies Mobiles

Guide des technologies mobiles



Centre d'études et de recherches
pour l'avancement de la construction au Québec

GRUPE DE RECHERCHE
EN INTÉGRATION ET DÉVELOPPEMENT DURABLE
EN ENVIRONNEMENT SAÏ

CHAIRE INDUSTRIELLE
POMERLEAU

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aigbavboa, C.O., Thwala W.D. et K.P. Lesito. 2013. « Information Communication Technology (ICT) usage in the South African construction professional practice : lessons learnt ». *Journal of economics and behavioral studies : JEBS*, vol. 5, n° 10, (10), p. 652-659.
- Aziz, Z, C Anumba et F Pena-Mora. 2009. « A road-map to personalized context-aware services delivery in construction ».
- Aziz, ZUH, N Harun et N Alaboud. 2016. « Mobile computing applications within construction ».
- Bae, Hyojoon, Mani Golparvar-Fard et Jules White. 2013. « High-precision vision-based mobile augmented reality system for context-aware architectural, engineering, construction and facility management (AEC/FM) applications ». *Visualization in Engineering*, vol. 1, n° 1, p. 1-13.
- Bakens, Wim. 1997. « International trends in building and construction research ». *Journal of construction engineering and management*, vol. 123, n° 2, p. 102-104.
- Beaudoin, Josée, Claire Bourget et Guillaume Mallette-Vanier. 2015. « Mobilité au Québec : La croissance se poursuit ».
- Bilandzic, Mark, et John Venable. 2011. « Towards participatory action design research: adapting action research and design science research methods for urban informatics ». *The Journal of Community Informatics*, vol. 7, n° 3.
- Bowden, S, A Dorr, A Thorpe et CJ Anumba. 2004. « Mapping site processes for the introduction of mobile IT. eWork and eBusiness in Architecture ». *Engineering and Construction. Taylor and Francis Group, London*.
- Bowden, Sarah, Alex Dorr, Tony Thorpe et Chimay Anumba. 2006. « Mobile ICT support for construction process improvement ». *Automation in Construction*, vol. 15, n° 5, p. 664-676.
- Brandon, Peter, Martin Betts et Hans Wamelink. 1998. « Information technology support to construction design and production ». *Computers in Industry*, vol. 35, n° 1, p. 1-12.
- Brender, Nathalie, et Iliya Markov. 2013. « Risk perception and risk management in cloud computing: Results from a case study of Swiss companies ». *International journal of information management*, vol. 33, n° 5, p. 726-733.

- Brown, D. Gregg, Cathy Capes, Pierre Corriveau, Louis Lessard, Rick Linley, Robert J. Ojolic et Barbara Shipman. 2009. « Modes de réalisation des projets de construction ». In *Manuel canadien de pratique de l'architecture*, sous la dir. de Canada, Institut royal d'architecture du, 2.
- Chen, Yuan, et John M Kamara. 2011. « A framework for using mobile computing for information management on construction sites ». *Automation in Construction*, vol. 20, n° 7, p. 776-788.
- Chen, Yuan, et John M. Kamara. 2008. « Using mobile computing for construction site information management ». *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 15, n° 1, p. 7-20.
- Chi, Hung-Lin, Shih-Chung Kang et Xiangyu Wang. 2013. « Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction ». *Automation in Construction*, vol. 33, n° 0, p. 116-122.
- Childress, Vincent W. 2013. « Building construction and building information modeling.(RESOURCES IN TECHNOLOGY AND ENGINEERING) ». *Technology and Engineering Teacher*, vol. 73, n° 4, p. 24.
- Cisco, San Jose. 2013. « CA, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2012-2017" ». *Cisco Public Information*.
- Cohen, Deborah, et Benjamin Crabtree. 2006. « Qualitative research guidelines project ». In.
- Cook, Richard, et Stuart Eckblad. 2007. *Integrated Project Delivery: A Guide*. 62 p.
- Dao, Lieu, et Daniel Forgues. 2013. « Transformer la gestion des équipements avec la BIM: Une étude de cas ». *CSCE 2013*, p. 9.
- Dong, Andy, Mary Lou Maher, Mi Jeong Kim, Ning Gu et Xiangyu Wang. 2009. « Construction defect management using a telematic digital workbench ». *Automation in Construction*, vol. 18, n° 6, p. 814-824.
- Eastman. 2011. « BIM Handbook Introduction ». In *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, sous la dir. de Sons, John Wiley &. p. 640.
- Eastman, Chuck, Charles M Eastman, Paul Teicholz et Rafael Sacks. 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- Egan, John. 1998. *Rethinking construction*. Department of Environment, Transport and the Region.

- Errin. 2011. « SightSpace 3D V. 1.3 Released: Google SketchUp, Google 3D Warehouse, and Google Earth viewer with Augmented Reality ». < <http://blog.limitlesscomputing.com/2011/12/sightspace-3d-v-1-3-released-google-sketchup-google-3d-warehouse-and-google-earth-viewer-with-augmented-reality/> >. Consulté le 18/04/2016.
- Ferrada, Ximena, Marcos Sepúlveda, Alfredo Serpell, Daniela Núñez et Andrés Neyem. 2014. « A lessons-learned mobile system for construction companies: motivation and design ». *Procedia Engineering*, vol. 85, p. 157-165.
- Fetterling, Jessie. 2013. « PODCAST Part I: McCarthy Awarded for Innovative Building Approach ». < <http://www.hconews.com/articles/2013/05/1/podcast-part-i-mccarthy-awarded-innovative-building-approach> >. Consulté le 18/04/2016.
- Forgues, Daniel, et Sheryl Staub-French. 2011. « Improving efficiency and productivity in the construction sector through the use of information technologies ».
- Forgues, Daniel, Sheryl Staub-French, Souha Tahrani et Erik Poirier. 2014. *L'inévitable passage à la modélisation des données du bâtiment (BIM) dans l'industrie de la construction au Canada : Synthèse de trois expérimentations*.
- Forgues, Daniel, Souha Tahrani et Sébastien Frenette. 2014. *Construction 2.0 : L'efficacité par le numérique*. CEFRIO.
- Forgues, Daniel, Souha Tahrani et Manon Pouteau. 2015. *Construction 2.0 : Guide des Technologies Mobiles*. CERACQ.
- Frenette, Sébastien. 2014. « Améliorer les processus de communication sur les chantiers de construction à l'aide des technologies mobiles et des technologies infonuagiques ». Mémoire. Montréal, École de Technologie Supérieure, 233 p.
- Frenette, Sébastien, Daniel Forgues et Souha Tahrani. 2014. « Les technologies mobiles, une révolution dans la communication et la coordination de projets de construction ». In *SCGC*. (Halifax, NS). Vol. 142, p. 1.
- Fuller, et McHale. 1965. *World Design Science Decade, 1965-1975*.
- Gajendran, Thayaparan, et Graham Brewer. 2012. « Cultural consciousness and the effective implementation of information and communication technology ». *Construction Innovation*, vol. 12, n° 2, p. 179-197.
- Garrett Jr, James H, et Jirapon Sunkpho. 2000. « Issues in delivering mobile IT systems to field users ». In *Proceedings: Int. Kolloquium ueber die Anwendung der Informatik und Mathematik in Architektur und Bauwesen (IKM)*. Weimar.

- Gu, Ning, et Kerry London. 2010. « Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry ». *Automation in Construction*, vol. 19, n° 8, p. 988-999.
- Gupta, Prashant, A Seetharaman et John Rudolph Raj. 2013. « The usage and adoption of cloud computing by small and medium businesses ». *International Journal of Information Management*, vol. 33, n° 5, p. 861-874.
- Hevner, Alan, Salvatore March, Jinsoo Park et Sudha Ram. 2004. « Design science in information systems research ». *MIS quarterly*, vol. 28, n° 1, p. 75-105.
- Hewage, Kasun N., et Janaka Y. Ruwanpura. 2009. « A novel solution for construction on-site communication – the information booth ». *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 36, n° 4, p. 659-671.
- Horman, Michael J., et Russell Kenley. 2005. « Quantifying Levels of Wasted Time in Construction with Meta-Analysis ». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 131, n° 1, p. 52-61.
- Irizarry, Javier, et Taran Gill. 2009. « Mobile applications for information access on construction jobsites ». In *International Workshop on Computing in Civil Engineering*. p. 24-27. ASCE Austin, TX.
- Kang, Youngcheol, William J. O'Brien, Jiukun Dai, Stephen P. Mulva, Stephen P. Thomas, Robert E. Chapman et David Butry. 2013. « Interaction effects of information technologies and best practices on construction project performance ». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 139, n° 4, p. 361-371.
- Kim, Changyoon, Hyunsu Lim et Hyoungkwan Kim. 2011. « Mobile computing platform for construction site management ». In *Proceedings of 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Seoul, Korea*. p. 1164-1169.
- Kim, Changyoon, Taeil Park, Hyunsu Lim et Hyoungkwan Kim. 2013. « On-site construction management using mobile computing technology ». *Automation in construction*, vol. 35, p. 415-423.
- Kimoto, Kenji, Kazuyoshi Endo, Satoru Iwashita et Mitsuhiro Fujiwara. 2005. « The application of PDA as mobile computing system on construction management ». *Automation in Construction*, vol. 14, n° 4, p. 500-511.
- Le, Quang Tuan, Akeem Pedro, CR Lim, HT Park, CS Park et HK Kim. 2015. « A framework for using mobile based virtual reality and augmented reality for experiential construction safety education ». *Int. J. Eng. Educ*, vol. 31, n° 3, p. 713-725.

- March, Salvatore T, et Veda C Storey. 2008. « Design science in the information systems discipline: an introduction to the special issue on design science research ». *MIS quarterly*, p. 725-730.
- Mell, Peter, et Timothy Grance. 2011. « The NIST Definition of Cloud Computing ». < <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf> >. Consulté le 21/01/2016.
- Menzel, Karsten, M Keller et K Eisenblätter. 2004. « Context sensitive mobile devices in architecture, engineering and construction ».
- Mtibaa, Abderrahmen, Khaled A Harras, Karim Habak, Mostafa Ammar et Ellen W Zegura. 2015. « Towards mobile opportunistic computing ». In *Cloud Computing (CLOUD), 2015 IEEE 8th International Conference on*. p. 1111-1114. IEEE.
- Ningshuang Zeng, Yan Liu, Xiao Li et Bo Xu. 2014. « On-site construction management framework based on a real-time building information modeling system ». *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2014*, p. 95.
- Nourbakhsh, Mehdi, Rosli Mohamad Zin, Javier Irizarry, Samaneh Zolfagharian et Masoud Gheisari. 2012. « Mobile application prototype for on-site information management in construction industry ». *Engineering, construction and architectural management*, vol. 19, n° 5, p. 474-494.
- Olofsson, Thomas, et M Emborg. 2004. « Feasibility study of field force automation in the Swedish construction sector ». *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, vol. 9, p. 285-295.
- Park, Chan-Sik, Do-Yeop Lee, Oh-Seong Kwon et Xiangyu Wang. 2013. « A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template ». *Automation in Construction*, vol. 33, n° 0, p. 61-71.
- Peffer, Ken, Tuure Tuunanen, Marcus A Rothenberger et Samir Chatterjee. 2007. « A design science research methodology for information systems research ». *Journal of management information systems*, vol. 24, n° 3, p. 45-77.
- Porwal, Supriya. 2015. « How Blend Of Augmented Reality And Big Data Would Help In Energy Management? ». < <http://www.credencys.com/blog/how-blend-of-augmented-reality-and-big-data-would-help-in-energy-management.html> >. Consulté le 18/04/2016.
- Reinhardt, Jan, James H Garrett Jr et Raimar J Scherer. 2000. « The preliminary design of a wearable computer for supporting Construction Progress Monitoring ». In

International Conference on the Application of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering (IKM 2000). Weimar, Germany.

Ren, Kui, Cong Wang et Qian Wang. 2012. « Security challenges for the public cloud ». *IEEE Internet Computing*, n° 1, p. 69-73.

Sacks, Rafael, Ronen Barak, Biniamin Belaciano, Ury Gurevich et Ergo Pikas. 2013. « KanBIM workflow management system: Prototype implementation and field testing ». *Lean Constr. J.*, vol. 9, n° 1, p. 19-34.

Saidi, K, Carl T Haas et Nicole A Balli. 2002. « The value of handheld computers in construction ». *EVALUATION*, vol. 13, p. 14.

Sargent, Kimberley, Paul Hyland et Sukanlaya Sawang. 2012. « Factors influencing the adoption of information technology in a construction business ». *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, vol. 12, n° 2.

Schick, Shane. 2014. « Evans Data: Mobile developers now number 8.7 million worldwide ». < <http://www.fiercedevolver.com/story/evans-data-mobile-developers-now-number-87-million-worldwide/2014-06-20> >.

Schmid, Falko, et Daniel Langerenken. 2014. « Augmented reality and GIS: On the possibilities and limits of markerless AR ».

Son, Hyojoo, Yoora Park, Changwan Kim et Jui-Sheng Chou. 2012. « Toward an understanding of construction professionals' acceptance of mobile computing devices in South Korea: An extension of the technology acceptance model ». *Automation in Construction*, vol. 28, p. 82-90.

Tong, Allison, Peter Sainsbury et Jonathan Craig. 2007. « Consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ): a 32-item checklist for interviews and focus groups ». *International Journal for Quality in Health Care*, vol. 19, n° 6, p. 349.

Toole, T. Michael. 2003. « Information Technology Innovation: A View of Large Contractors. ». In *ASCE Construction Research Congress*. (Honolulu).

Trollsås, Bo Christian. 2014. « Implementing BIM and IPD ».

Usman, Nuruddeen, et Ilias Said. 2012. « Information and communication technology innovation for construction site management ». *American Journal of Applied Sciences*, vol. 9, n° 8, p. 1259-1267.

Venkatraman, Sitalakshmi, et Pak Yoong. 2009. « Role of mobile technology in the construction industry-a case study ». *International Journal of Business Information Systems*, vol. 4, n° 2, p. 195-209.

- Voskoglou, Christina. 2013. « Sizing the app economy ». < <http://www.developereconomics.com/report/sizing-the-app-economy/> >. Consulté le 03/02/2016.
- Wang, Xiangyu, Peter E. D. Love, Mi Jeong Kim, Chan-Sik Park, Chun-Pong Sing et Lei Hou. 2013. « A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality ». *Automation in Construction*, vol. 34, n° 0, p. 37-44.
- Wieringa, Roel. 2009. « Design science as nested problem solving ». In *Proceedings of the 4th international conference on design science research in information systems and technology*. p. 8. ACM.
- Wolstenholme, Andrew, Simon A Austin, Malcolm Bairstow, Adrian Blumenthal, John Lorimer, Steve McGuckin, Sandi Rhys Jones, Don Ward, David Whysall et Zoe Le Grand. 2009. « Never waste a good crisis: a review of progress since Rethinking Construction and thoughts for our future ».
- Wong, Andy KD, Francis KW Wong et Abid Nadeem. 2010. « Attributes of building information modelling implementations in various countries ». *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 6, n° 4, p. 288-302.
- Zadeh, Puyan A., Sheryl Staub-French et Rachel Pottinger. 2015. « Review of BIM quality assessment approaches for facility management ».
- Zeiss, Geoff. 2013. « SPAR 2013: Developing an intelligent 3D model of above and below ground infrastructure for the City of Las Vegas ». < http://geospatial.blogs.com/geospatial/digital_cities/page/3/ >. Consulté le 18/04/2016.